

IVAN FALCÃO PONTES

**APROVEITAMENTO DE FINOS GERADOS NAS
SERRAGENS DE MÁRMORES E GRANITOS**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da USP para
a Obtenção do Título de
Doutor em Engenharia.

SÃO PAULO

2000

IVAN FALCÃO PONTES

**APROVEITAMENTO DE FINOS GERADOS NAS
SERRAGENS DE MÁRMORES E GRANITOS**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da USP para
a Obtenção do Título de
Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:

Engenharia Mineral.

Orientador: Prof.Dr.Antônio

Stellin Júnior

SÃO PAULO

2000

Pontes, Ivan Falcão

Aproveitamento de finos gerados nas serragens
de mármore e granitos. São Paulo: EPUSP, 2000
150p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia
de Minas.

1. aproveitamento de finos. 2. Aplicações na cerâmica.

3. aplicações na construção civil. I.

Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Minas. II. t.

Dedico esta tese: como homenagem póstuma, ao meu pai Manoel Pontes, pela dedicação e primeiras lições, e minha mãe Maria das Dores Falcão Pontes, pela dedicação, amor carinho, perseverança e incentivo.

A você Célia, esposa querida, orgulho – me que seu nome permaneça inscrito nesta tese, que viu ser sonhado, planejado, iniciado e concluído. Você foi minha inspiração, estímulo, fundamentais para obter essa meta. Meu amor e gratidão a você, amiga de todos os momentos, e aos nossos filhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antônio Stellin Júnior, pelas orientações e sugestões durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Roberto Cerrini Villas Boas que, no início do curso como Diretor do CETEM, empenhou-se ao máximo para que o êxito do convênio CETEM /EPUSP fosse consolidado.

Ao Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves, pelas sugestões e orientações no decorrer da realização deste trabalho.

Ao Diretor do Centro de Tecnologia Mineral, Dr. Fernando Antônio Freitas Lins, por ter apoiado e dado continuidade para que os objetivos do convênio fossem realizados.

Ao Prof. Dr. Laurindo de Salles Leal Filho, pelas sugestões iniciais no decorrer da proposta deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Eduardo Camilher Damasceno, pelo empenho para que o convênio EPUSP/CETEM, fosse realizado, contribuindo para o aperfeiçoamento dos pesquisadores do CETEM.

Aos Profs. do departamento de Engenharia de Minas da EPUSP, pelos conhecimentos transmitidos da área mineral no decorrer do curso.

Aos Drs. João Alves Sampaio, Marisa Bezerra Monte e Adão Benvindo da Luz, chefes do SEBM, SPM, e CTM, respectivamente, por permitirem que eu me dedicasse o maior tempo possível a este trabalho.

Aos Drs. Adriano Caranassios, Raimondo Ciccu, Francisco Wilson Hollanda Vidal, Antônio Rodrigues de Campos, Salvador Luiz Matos de Almeida, Mario Valente Possa, Arnaldo Alcover Neto, Maria Alice Cabral de Goes, Francisco E. de V. Lapidoulo, Regina Célia Monteiro Castelões, e Júlio Cesar Correia Guedes.

Aos técnicos, Luiz Fernando dos S. Lima Ramos, pela colaboração na realização dos ensaios e preparação das amostras, Carlos Alberto Melo Santos, pela separação magnética no Boxmag Rapid e planilha, Marcelo Andrade pela separação magnética e peneiramento, Nilza Maria M. de Oliveira, Maria Inês Couto Monteiro e Solange Alves Nascimento, pelas análises químicas, Antônio Odilon Silva, Severino Marques Lima, e Adauto José Silva, pelos ensaios de separação magnética e ciclosize, João Félix dos Santos, pelos ensaios no hidrociclone.

As bibliotecárias Ana Maria Sá de Oliveira, Sônia Mamede Lourenço e Andréa Diogo Teixeira Batista, pela colaboração na busca de artigos técnicos.

Aos técnicos Carlos Campos, Jackson de Figueiredo Neto, Alexandre Prado, e Maurício Garcia Pinheiro, pelo apoio na informática. Agradeço ainda a Cosme Regly, Augusto Wagner Padilha Martins, Gezylane Machado, Joélcio Francisco, Vera Lúcia do Espírito Santo, Regina Martins, Maria Iaponeide Fernandes Macedo, e todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Dr. Francisco Lordes, Diretor do SENAI/ES, e aos Engs. Gustavo Rocha Kraus e Luís Claudio Magnago Andrade, SENAI / ES.

Ao Eng. Sebastião Mardônio P. Lucena, Chefe do Departamento de eng. civil da Universidade Federal do Ceará – UFC, onde foram realizados os ensaios de queima e medição da resistência à compressão.

Ao Dr. João Arquimedes Pereira Bastos, Presidente da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial - NUTEC / CE, Dr. Eliel Paranhos de Almeida, Diretor da Ditem, Dras. Maria Angélica Batista Lima, Maria de Fátima Bessa, Maria Valcleir Linhares Lessa, Engs. Joaquim Raul Torquato, José Ramalho, Eso Bravo de Moura, Paulo Demétrio, Geraldo Luiz P. Silva, e aos técnicos, Riodam José da Silva, Carlos Alberto, Gregório e Marquinho.

A Profa. Maria Angélica Dias, Diretora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. Ao Prof. Emérito Walmor Prudêncio, Prof. Pedro Paulo Vasconcelos Akil, Chefe do Laboratório de materiais da Faculdade de Arquitetura da UFRJ, Prof. Paulo Costa, do Laboratório de materiais, e ao técnico, José Carlos Santos, que me auxiliaram nos estudos de argamassa.

Ao Dr. Walter Lins Arcoverde do DNPM / SC, e Geól. Carlos Rubens Araújo Alencar do DNPM / CE.

Agradecimentos especiais à MARBRASA-Mármore e Granitos do Brasil S./A., aos supervisor Dalvimar Costalonga Silotti, e Chefe da serraria Adenir Filho.

A todos que colaboraram na realização deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho reporta uma série de estudos realizados em escala de laboratório (caracterização química / mineralógica, análise granulométrica, separação magnética de baixa e alta intensidade (via úmida), ensaios de separação gravítica) com amostras de pó de serragem de granitos e mármore, provenientes da serraria da Marbrasa, situada no município de Cachoeiro de Itapemirim - ES.

O objetivo foi estudar a viabilidade técnica de se aproveitar estes resíduos através da remoção do ferro contido no rejeito, permitindo assim a sua utilização para fins mais nobres, tais como : nas indústrias de cerâmica de revestimento (principalmente pisos), indústrias de argamassas, indústrias de cerâmica vermelha (tijolos, telhas e lajotas), indústrias de construção civil (bloco estrutural, pisos para pavimentação de áreas externas).

Na primeira fase realizada no CETEM, purificação da amostra, partindo-se de uma amostra¹ com 4,64% de Fe, foi possível atingir um teor de Fe de 3,2%, somente efetuando-se um corte com peneira de 150 #, pois grande parte da granalha (elemento abrasivo) possui granulometria grossa (+150 #). Esse descarte representa uma perda de apenas 12% em massa, sendo grande parte da granalha descartada nesta operação. A segunda fase realizada no NUTEC / CE, estudo de aplicações industriais, foi utilizada a amostra² com teor de Fe de 11,8%. Os resultados obtidos nesses estudos foram considerados promissores.

Foram realizados ensaios de separação magnética de baixa intensidade, usando o tubo Davis e o separador de tambor. A percentagem de redução do teor de Fe foi de 56,3% e 29,3%, respectivamente. Na separação de alta intensidade, o teor de Fe foi reduzido em até 75,9% usando o separador Boxmag Rapid e 34,7% com o separador CF-5. Os resultados obtidos com o separador de tambor não foram promissores. Produziu-se concentrados com teor de Fe de 7%.

Na mesa vibratória Denver, a redução do teor de Fe alcançada foi de 19,5% e com a mesa Mozley foi de 32%.

Os resultados obtidos com o ciclone indicaram que há possibilidade de utilização desta rota, desde que sejam realizados novos ensaios, visando a obtenção de melhores resultados. Foram obtidos produtos com teor de Fe de 3,5%, correspondendo a uma redução de Fe de 28,57%.

Nos estudos para redução do teor de ferro na amostra, observou-se que o separador CF-5 apresentou bons resultados, seguido da mesa Mozley. A purificação da amostra utilizando o ciclone deverá ser melhor estudada, por ser uma rota economicamente viável, baixo custo de investimento e operacional, e em virtude de ter apresentado bons resultados, deverá ser estudada detalhadamente.

Os estudos realizados para utilização do resíduo na indústria de construção civil (argamassas de assentamentos e revestimento, bloco estrutural), indústria de cerâmica vermelha (telhas, tijolos, lajotas etc.) e indústria de cerâmica de revestimento (esmalte), foram considerados promissores.

ABSTRACT

The present work reports a series of studies accomplished in laboratory scale (chemical characterization / mineralogical, analysis granulométrica, magnetic separation of drop and high intensity (he/she saw humid), rehearsals of separation gravítica) with samples of powder of serragem of granites and marbles, coming of the sawmill of Marbrasa, placed in the municipal district of Cachoeiro of Itapemirim – Espírito Santo state.

The objective went study to technical viability of taking advantage these residues through the removal of the iron contained in I reject it, allowing like this its use for nobler ends, such as: in the industries of coating ceramic (mainly floors), industries of mortars, industries of red ceramic (bricks, tiles and lajotas), industries of civil construction (structural block, floors for pavimentação of external areas).

In the first phase accomplished in CETEM, purification of the sample, breaking of an amostra¹ with 4,64% of Faith, it was possible to only reach a text of Faith of 3,2%, being made a court with sieve of 150 #, because great part of the granalha (abrasive element) it possesses thick granulometria (+150 #). That discards it represents a loss of just 12% in mass, being great part of the granalha discarded in this operation. The second phase accomplished in NUTEC / CE, study of industrial applications, it was used for amostra² with text of Faith of 11,8%. The results obtained in those considered studies were promising.

Rehearsals of magnetic separation of low intensity were accomplished, using the tube Davis and the drum separador. The percentagem of reduction of the text of Faith was of 56,3% and 29,3%, respectively. In the separation of high intensity, the text of Faith was reduced in up to 75,9% using the separador Boxmag Rapid and 34,7% with the separador CF-5. The results obtained with the drum separador were not promising. It was produced concentrate with text of Faith of 7%.

In the vibratory table Denver, the reduction of the text of reached Faith was of 19,5% and with the table Mozley was of 32%.

The results obtained with the hurricane indicated that there is possibility of use of this route, since new rehearsals are accomplished, seeking the obtaining of better results. They were obtained products with text of Faith of 3,5%, corresponding to a reduction of Faith of 28,57%.

In the studies for reduction of the text of iron in the sample, it was observed that the separador CF-5 presented good results, followed by the table Mozley. The purification of the sample using the hurricane should be studied better, for being a broken viable, low investment cost economically and operational, and by virtue of having presented good results, it should be studied in full detail.

The studies accomplished for use of the residue in the industry of civil construction (mortars of establishments and coating, structural block), industry of red ceramic (tiles, bricks, lajotas etc.) and industry of coating ceramic (it enamels), they were considered promising.



ERRATA DE TESE DE DOUTORADO

pág.	linha	onde se lê:	leia-se:
3	5ª agradecimentos	compressão	flexão
3	7ª agradecimentos	Diretor da Ditem	Diretor do NUTEC
1	1ª do Resumo	reporta uma série de	Apresenta os
2	sumário Item 4.2.3.	separador de tambor...	separador de baixa ...
2	sumário Item 4.2.4.	com CF-5 de alta...	com separador CF-5 de alta...
2	sumário Item 4.3	com mesas	com mesa vibratória e Mozley
2	sumário Item 5.2	na produção de tijolos,...	suprimir
2	sumário Item 5.3	para bloco... e pisos	para produção de bloco...e piso
3	suprimir os dois	últimos parágrafos do	item objetivo
5	décima quinta	não calcária ou	suprimir
10	terceira	com a Espanha...	com a China, Espanha...
10	oitava	na...costeira brasileira,	nos estados costeiros,
19	terceira	calcárias	carbonatadas
19	quarta	carbonáticas	carbonatadas
19	décima	calcárias	carbonatadas
34	treze	Os valores...expressões:	Suprimir, e tb. as equações
39	Item 2.6.2	primeiro parágrafo	suprimir
47	Item 2.6.3	primeiro parágrafo	suprimir
51	décima nona	eruptivas	duras
56	Item 2.6.3.2	primeiro parágrafo	suprimir
58	Item 2.7.1		suprimir
59	Item 2.7.2	2.7.2. - Aproveitamento...	2.7.1. - Aproveitamento...
59	primeira	Pereira (1997) e outros,	Pesquisadores,
59	nona	2.7.3	2.7.2
60	Item 2.7.4	2.7.4. Potencialidades...	2.7.3 – potencialidades...
62	Item 2.8	proveniente	oriunda
66	terceira	entre 20# a 2µm	entre 100# a 2µm
77	última	com hidrociclone etc., ...	com ciclone, ...
78	no fluxograma	ciclone concentrado	ciclone concentrador
82	quinta	limanhas	limalhas
88	décima terceira	adotados para de	adotados para.
88	décima quarta	são 8.000 e 9.000 G	são de 8.000 e 9.000 G
89	Item 3.9	Mesa vibratória	Mesa vibratória Denver
91	Item 3.11	Ensaio...AKW	Ensaios ... AKW de fundo chato
99	Tabela 11	Inserir linha em minerais	outros -- 9
99	Tabela 11	91	100
105	Item 4.2.3	separador de tambor de	separador de baixa intensidade
105	terceira	amostra de rejeito	Amostra 2 (Fe10,3%) do rejeito
105	terceira	proveniente da serraria	proveniente da mesma serraria
105	Abaixo da última	Inserir linha	* ocorreu variação
106	tabela 14	Intensidade	Intensidade usando amostra 2
106	tabela 14	Inserir coluna no início	Ensaio 1, 2, 3
108	Item 4.3	vibratória Denver...	vibratória Deister e Mozley
114	Item 4.4	Estudos com ciclone	Ensaios com...de fundo chato
147	nona	ocorreu a queima a	Ocorreu a queima.
148	Item 6	CONCLUSÕES	COMENTÁRIOS FINAIS
150	Inserir Item 7.		7. CONCLUSÕES

SUMÁRIO

Agradecimentos
RESUMO
ABSTRACT

Pág.

1. INTRODUÇÃO

- 1.1 – Aspectos Gerais 01
- 1.2 – Objetivo da tese 03

2. - REVISÃO DA LITERATURA

- 2.1 - Histórico 04
- 2.2 - Gênese 06
- 2.3 - Características dos depósitos de granito 10
- 2.4 - Principais usos 11

- 2.5 - Lavra 12
 - 2.5.1 – Lavra de matacões 14
 - 2.5.2 – Lavra de maciços e subterrânea 18
 - 2.5.3 – Lavra com fio helicoidal 19
 - 2.5.4 – Tecnologia de lavra usando perfuração e explosivos 20
 - 2.5.5 – Jato térmico (*Flame Jet*) 23
 - 2.5.6 – Cortador a corrente 25
 - 2.5.7 – Jato de água (*Water Jet*) 26
 - 2.5.8 – Fio diamantado 28

- 2.6 - Beneficiamento 31
 - 2.6.1 - Caracterização tecnológica de rochas ornamentais 31
 - 2.6.2 - Desdobramento de blocos 39
 - 2.6.2.1 – serraria da Marbrasa 41
 - 2.6.2.2 – beneficiamento com teares 43
 - 2.6.2.3 – talha bloco 46
 - 2.6.3 – Beneficiamento complementar 47
 - 2.6.3.1 - polimento e lustre 47
 - 2.6.3.2 - apicoamento e flamagem 52

- 2.7 – Geração de resíduos sólidos 56
 - 2.7.1 - Utilização de resíduo de rocha em solos 58
 - 2.7.2 - Aproveitamento industrial de resíduos de serrarias 59
 - 2.7.3 - Uso de resíduos como material de construção 59
 - 2.7.4 - Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem 60

- 2.8 – Purificação da Lama oriunda das operações de beneficiamento 62
 - 2.8.1 – Mesa vibratória 62
 - 2.8.2 – Teoria dos ciclones 66

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Amostragem do resíduo	73
3.2 – Preparação da amostra	77
3.3 – Caracterização química e mineralógica	80
3.4 – Análises granulométrica	82
3.5 – Procedimento experimental	83
3.6 – Separação magnética de baixa e alta intensidade	84
3.7 - Separação magnética com separador de tambor	86
3.8 - Separação magnética com separador Carrossel modelo CF-5	88
3.9 - Ensaios de concentração gravítica em mesa vibratória Denver	89
3.10 - Ensaios de concentração gravítica com mesa Mozley	90
3.11 - Ensaios usando ciclone da Akw de fundo chato	91

4. – RESULTADOS OBTIDOS NA PURIFICAÇÃO DA AMOSTRA

4.1 – Caracterização química e mineralógica	93
4.2 – Separação magnética de baixa e alta intensidade	100
4.2.1 Separação magnética de baixa intensidade	100
4.2.2 Separação magnética de alta intensidade	103
4.2.3 Separação magnética com sep. de tambor baixa intensidade	105
4.2.4 Separação magnética com CF-5 de alta intensidade	106
4.3 – Concentração gravítica com mesas	108
4.4 – Ensaios com ciclone de fundo chato	114

5. - ESTUDOS DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO NA CONSTRUÇÃO CIVIL E INDÚSTRIA CERÂMICA

5.1 – Avaliação do uso do resíduo na produção de argamassas de assentamento e revestimento	116
5.2 – Avaliação da utilização do resíduo na indústria de cerâmica vermelha, na produção de tijolos, telhas etc.	125
5.3 – Avaliação da utilização do resíduo para bloco estrutural e pisos para pavimentação	141
5.4 - Avaliação do uso do resíduo para cerâmica de revestimento	146

6. – CONCLUSÕES 148

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **ANEXOS**

Anexo 1 - Relatório de Caracterização Mineralógica

Anexo 2 - Certificados de Análises Química e Análises Granulométrica

Anexo 3 - Normas da ABNT

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1. INTRODUÇÃO

1.1 – Aspectos Gerais

No Estado do Espírito Santo os resíduos industriais gerados nas serrarias com teares de lâminas ou diamantados são, geralmente, depositados em barragens de rejeitos improvisadas e vão sendo acumulados ao redor dessas serrarias ao longo do tempo. Em seqüência, esses resíduos são costumeiramente lançados ao meio ambiente, em locais inadequados, principalmente nas áreas próximas às serrarias e em alguns casos os resíduos são jogados diretamente no rio Itapemirim, causando assoreamento, poluindo as águas e gerando grande impacto ambiental, acarretando, desta forma, conflitos com órgãos ambientais e populações vizinhas. O empresário alega a falta de áreas para disposição desses resíduos. A comunidade vizinha é prejudicada pela poluição do curso d'água. Os órgãos de fiscalização agem aplicando multas e restringindo a atividade das serrarias, atividade esta muito importante para a economia da região.

Um grande desafio da atualidade é o aproveitamento ou reciclagem de forma racional desses resíduos, sejam provenientes das indústrias (ganga da mineração, entulho, escombros, escórias, rejeitos de processos industriais etc.), doméstico (embalagens, papel, objetos de consumo, restos alimentares etc.) ou hospitalares (restos de medicamentos, embalagens contaminadas, seringas etc.).

Ao transformar matérias - primas, de modo a torná-las úteis para seu consumo, o homem produz quantidades apreciáveis de resíduos que parecem ser inúteis e que, ao longo do tempo, acabam por comprometer o meio ambiente (FELLENBERG, 1980).

Segundo SILVA (1998), a necessidade de cumprir às exigências de manejo e disposição de resíduos sólidos gerados nas atividade industriais, vem sendo imposta, nas duas últimas décadas, pelas leis ambientais e movimentos ecológicos em todo o mundo, tornando – se um grande desafio para os sistemas produtivos.

Neste contexto, a industrialização de rochas ornamentais necessita se conscientizar da responsabilidade de realizar mineração auto-sustentável, isto é, longo prazo, com respeito ao meio ambiente e a comunidade.

O Brasil, grande detentor de reservas de mármore e granitos, necessita definir metas para que sirvam como exemplos e inovações internacionais. É de fundamental importância a implantação de uma política que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais e a utilização de novas tecnologias.

O Estado do Espírito Santo, em decorrência da sua posição geográfica privilegiada e da infra-estrutura de ferrovias, rodovias e portos disponível em seu território, figura como principal polo industrial brasileiro de rochas ornamentais, contribuindo para o crescimento do intercâmbio comercial entre o Brasil e outros países.

Com a finalidade de promover o desenvolvimento e crescimento estadual, foram estabelecidas prioridades setoriais para estímulos e fomentar o surgimento de novas indústrias que possam ser fontes de novas receitas (IPT, 1993).

Estas novas indústrias devem estar consciente do papel relevante que irão exercer no setor onde atuam, com condições necessárias e suficientes para ingressar de forma competitiva nos cenários nacional e internacional, com tecnologia adequada, elevando a produtividade e reduzindo os custos e impactos ambientais, encontrando assim o caminho para a sua sobrevivência e progresso neste mercado de grande competitividade.

1.2 – Objetivo da Tese

O objetivo desta tese é minimizar o impacto ambiental mediante o aproveitamento e valorização do resíduo mineral descartado pelas serrarias do Estado do Espírito Santo.

A parte metálica do resíduo, constituída pela granalha, pode ser recuperada e reutilizada para outro fim. Os minerais constituintes da rocha podem ser usados para fins mais nobres, como materiais cerâmicos, construção civil, argamassa de assentamentos, argamassa de revestimento interno e externo etc.

Para alcançar o objetivo proposto, foi necessário estudar rotas de beneficiamento, que possibilitassem agregação de valores, e possíveis aplicações industriais da parte não metálica do resíduo produzido na serragem de mármore e granitos. Para isto, foi coletada e caracterizada uma amostra do resíduo na barragem de rejeitos da serraria da Marbrasa, localizada em Cachoeiro de Itapemirim - ES.

Os estudos de beneficiamento foram desenvolvidos no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM e tiveram como principal objetivo a purificação da amostra com a remoção do Fe e aproveitamento da parte não metálica do resíduo como: carga mineral nas indústrias de cerâmica vermelha na produção de tijolos maciços e telhas, nas indústrias de cerâmica de revestimento (principalmente pisos), nas indústrias de construção civil (na produção de blocos estruturais, pisos para pavimentação de áreas externas e internas, argamassas de assentamentos e argamassas de (emboco) revestimento interno e externo).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - Histórico

A utilização de rochas ornamentais pelo homem data dos tempos pré-históricos (paleolítico). Os primeiros granitos e mármore foram usados na produção de utensílios domésticos, armas para caça, pesca e objetos sacros. Em seqüência, as rochas ornamentais tiveram as primeiras e importantes aplicações como monumentos funerários. Os mármore e arenitos foram inicialmente os materiais usados nas edificações de habitações e defesa das cidades. As civilizações utilizavam as rochas na construção civil, de acordo com suas características, finalidade e estilo arquitetônico (Vidal, 1995, Alencar, 1996, Azambuja, 1977).

As primeiras construções brasileiras utilizando rochas ornamentais foram realizadas pelos portugueses, no início do período colonial, passando pelo Brasil Império e estendendo-se até o início da República. Foram utilizadas rochas ornamentais em fortes e em diversas cidades de Minas Gerais, tais como: Mariana, Diamantina, Ouro Preto, São João Del Rei e Tiradentes. Em Olinda - Pernambuco, existem várias construções tombadas pelo patrimônio histórico nacional; em Salvador - Bahia, na ladeira do Pelourinho e em diversas Igrejas, a arquitetura apresenta um estilo barroco colonial; no Rio de Janeiro, o Palácio do Catete, Igreja da Candelária , Palácio das Laranjeiras, Teatro Municipal e em túmulos etc. Diversas outras cidades brasileiras possuem um valioso patrimônio histórico, construído pelos mestres portugueses de cantaria, que deixaram sua marca na arquitetura brasileira (Vidal, 1995, Azambuja, 1977).

O termo rocha ornamental, pedra natural, rocha lapídea, rocha dimensional, e material de cantaria é usado para designar pedras extraídas e beneficiadas, visando a obtenção de dimensões, especificações e formas de uso na construção civil, arte funerária, arte de decoração, revestimento de elementos urbanos etc. O termo está associado tanto a blocos de rocha bruta como a material já acabado, polido e com lustre (Moya, 1995, Chiodi, 1995).

As principais rochas usadas para atender o segmento acima mencionado são os mármore, granitos, gnaisses, calcários, quartzitos, ardósias e serpentinitos. No presente trabalho serão considerados apenas os mármore e granitos por serem os de maior importância no Brasil e no mercado internacional. O termo “granito” usado na tecnologia das rochas ornamentais inclui todas as rochas mais duras que o mármore, normalmente contendo feldspato, quartzo, mica e que tenham um comportamento semelhante na trabalhabilidade. Quando existe um comportamento diferente dos citados se costuma usar o termo petrográfico, quartzito, serpentinito, ardósia etc.

A rocha granítica, no jargão comercial, se refere às rochas não calcárias ou silicatadas, que possam ser polidas e usadas para revestimento, estando incluídos no termo granito, as rochas feno-cristalinas, decorativas, com dureza Mohs entre 6 e 7, formadas pelos minerais: quartzo, feldspato, feldspatóide etc. Nesta categoria tem-se então, o granito propriamente dito (rocha ígnea, intrusiva, formada por quartzo e feldspato), diorito, granodiorito, basalto, sienito, quartzito, gnaisse e outras rochas de origem magmática ou metamórfica. Denomina-se mármore, no mesmo jargão, a rocha cristalina, compacta e decorativa, de dureza Mohs entre 3 e 4, constituída pelos minerais calcita, dolomita, serpentina. Tem-se então o mármore propriamente dito (calcário metamorfozido recristalizado), calcário dolomítico, brecha calcária e serpentinito (Moya, 1995, Chiodi, 1995, Vidal, 1999).

Embora com custo mais elevado, as rochas ornamentais apresentam vantagens, em relação a outros materiais (tijolos, peças cerâmicas etc.) como material de acabamento, já que sua beleza, dureza e resistência ao intemperismo químico e físico são maiores.

No período da Primeira Guerra (1914 - 1918), o primeiro tear brasileiro foi importado e usado para incrementar a produção de rochas ornamentais no Brasil. A partir daí os teares passaram a ser produzidos no Brasil com base no protótipo importado, em consequência do bloqueio marítimo e paralisação das importações (Stellin, 1990).

As explorações iniciais de mármore foram feitas no estado de Minas Gerais, expandindo-se posteriormente para outros estados. A extração de granito teve início no Rio de Janeiro e posteriormente se expandiu para Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Minas Gerais. A utilização de rochas brutas para consumo interno e exportação, teve um crescimento significativo na década de 70. No entanto, apesar do grande desenvolvimento do setor nos últimos 20 anos, o Brasil não atingiu ainda um nível satisfatório no que tange à tecnologia de extração e beneficiamento, como as praticadas na Itália, China, Espanha e Grécia (Barbosa, 1998, Leinz, 1971, DNPM, 1991).

2.2 – Gênese

Os granitos são rochas ígneas formadas pela fusão e cristalização de um agregado de materiais denominado magma, englobando substâncias nas fases sólida, líquida e gasosa que, quando atinge a superfície, resulta em rochas ígneas extrusivas e quando é resfriado em profundidade, no interior da terra, gera rochas ígneas

intrusivas. Se estas rochas formam grandes corpos, denominam-se plútons ou batólitos. As rochas ígneas (extrusivas) são formadas a partir de erupções vulcânicas e podem apresentar textura vítrea ou grãos finos, em virtude do rápido resfriamento. As rochas intrusivas são consolidadas a partir de um magma resultante de diferenciação magmática em profundidade e, geralmente leucocráticas, de granulação variando de média a grosseira, em virtude do resfriamento lento. Os granitos são constituídos de três minerais essenciais: quartzo, feldspato (ortoclásio, microclina, albita, oligoclásio) e micas (biotita e moscovita). A textura apresenta-se geralmente granular, mostrando elementos passíveis de serem observados a olho nu. A rocha granítica geralmente possui densidade variando de 2,55 a 2,75 (Leinz, 1971, Guerra, 1978, Pinheiro, 1996, Macêdo, 1998).

De acordo com a posição do corpo rochoso tem-se:

➤ rochas extrusivas

- cone de cinzas: elevação resultante da acumulação de cinzas vulcânicas;
- cinza piroclástica: material expelido, forma uma nuvem de fragmentos;
- fluxo de lava ou derrame: material que flui formando caudais de lava.

➤ rochas Intrusivas

- diques: corpos verticais ou fortemente inclinados;
- sills: capa de rocha magmática que se apresenta horizontalizada;
- lacólito: quando a lapa da rocha é horizontalizada com forma de cogumelo;
- batólito: grande corpos cristalinos (Macêdo, 1998).

Os granitos utilizados como rochas ornamentais podem ocorrer sob a forma de maciços rochosos (*stocks*, batólitos, lacólitos, filões, camadas etc.), ou grandes matacões (*boulders*). Os matacões são blocos formados a partir do processo de intemperismo sobre o maciço granítico, ocorrendo pouco ou nenhum movimento de massa na sua formação. Os custos de lavra nos matacões são menores que os verificados nos maciços não intemperizados. Os afloramentos de granitos aparecem geralmente em maciços e representam cerca de 5 a 10% da área do globo terrestre. A composição das rochas ígneas apresenta elevado teor de sílica, que permite sua classificação desde rocha ácida até ultrabásica, conforme a tabela 1.

A lavra de granito ornamental, em alguns casos, tem início nos matacões, evoluindo para a lavra do maciço. Isto ocorre quando as condições naturais favorecem a formação de matacões (*boulders*). A lavra de matacões é bastante usada no Brasil, em virtude principalmente ao baixo custo operacional, proporcionando entrada de recursos para financiamento da lavra no maciço.

Os mármore usados para fins ornamentais são explorados exclusivamente de maciços rochosos, pois com a sua composição mineralógica menos resistente ao intemperismo físico e químico não há a formação de matacões (MOYA,1995).

A classificação petrográfica das rochas está apresentada na tabela 1

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE ROCHAS BRASILEIRAS

ROCHA	TEOR SÍLICA	TIPO PETROGRÁFICO	MINERALOGIA ESSENCIAL / SECUNDÁRIOS	TEXTURA	ESTRUTURA
ÍGNEA	ÁCIDA 65-72%	GRANITOS	FELDSPATO, QUARTZO, MICA/ANFIBÓLIO	GROSSA MÉDIA FINA	COMPACTA RARAMENTE BANDADA
	INTERMEDIÁRIA 52-65%	SIENITOS, MONZONITOS DIORITOS, CHARNOCHITOS	FELDSPATO, PIROXÊNIO, MICA FELDSPATOIDES	GROSSA A MÉDIA	COMPACTA OU BANDADA
	BÁSICA 45-52%	GABRO, DIABÁSIO, BASALTO	FELDSPATO, PIRO XENIOS/ ARGILAS	GROSSA A FINA	COMPACTA
	ULTRABÁSICA <45%	NORITO, PIROXENITOS	OLIVINA PIROXENIOS	GROSSA	COMPACTA
SEDIMENTAR	-----	ARENITOS	QUARTZO, ARGILA, SÍLICA AMORFA	MÉDIA A FINA	ESTRATIFICADA
		DOLOMITOS	DOLOMITA, CALCI TA	MÉDIA	COMPACTA
METAMÓRFICA	-----	GNAISSES	FELDSPATO, QUARTZO, MICA	GROSSA A MÉDIA	BANDADA
		QUARTZITO	QUARTZO, MICA	MÉDIA	COMPACTA ESTRATIFICADA
		ARDÓSIAS	MICA, ARGILAS	FINA	FOLHEADA
		MÁRMORES	CALCITA, DOLOMI TA, SERPENTINA	GROSSA A FINA	COMPACTA BANDADA

Fonte: (GUERRA, 1978, PINHEIRO, 1996, FARIAS, 1995, CARUSO, 1996).

2.3 - Características dos depósitos de granito

Segundo Arcoverde (1991), nos últimos anos, o Brasil vem se destacando como um dos principais países exportadores de granito bruto do mundo, em conjunto com a Espanha, África do Sul e Índia. As rochas ornamentais brasileiras vêm assumindo um papel da maior importância no setor mineral.

A pesquisa geológica nos mostra a distribuição geográfica dos depósitos e o grande potencial geológico brasileiro, revelando diversos tipos de rochas com grande variação de cores e textura.

Os depósitos graníticos geralmente estão localizados na faixa costeira brasileira, amplamente distribuídos em todo território nacional e datam do Proterozóico, com cerca de dois bilhões de anos, alguns maciços intrusivos alcalinos datam do Cretáceo e são lavrados para uso ornamental (Arcoverde, 1991, Leinz, 1971).

As rochas ornamentais brasileiras estão classificadas entre as melhores matérias - primas do mundo e são destinadas à indústria de revestimento (paredes, colunas, pisos etc.). Essa grande variedade de granitos e mármore, dentre outros tipos, apresentam boas características estéticas: diversidade de cores, texturas, composição mineralógica, características geológicas adequadas: maciço pouco fraturado, condições e reservas favoráveis para lavra, características tecnológicas: caracterização do material etc., propiciando a sua utilização como pedra de revestimento polida.

A utilização de pedra ornamental no Brasil teve um grande impulso nos últimos anos. No entanto, apesar do grande desenvolvimento do setor, o país não atingiu ainda um nível satisfatório de desenvolvimento com relação à tecnologia de extração

e beneficiamento, como as praticadas na Itália, China, Espanha e Grécia (Arcoverde, 1991, Barbosa, 1998, DNPM, 1991).

Segundo Arcoverde (1991), grande parte dos granitos ornamentais explorados no Brasil são procedentes de depósitos do tipo “campos de matacões”, ocorrendo importantes lavras em maciços rochosos (*stocks*, *batólitos* etc), como na região de Nova Venécia e Colatina, no norte do Espírito Santo. A lavra evolui dos campos de matacões (blocos in situ), para encostas ou maciços, onde é implementada a pedreira propriamente dita.

Alguns estados brasileiros vêm se destacando como produtores de rochas ornamentais, tais como Espírito Santo, Ceará, São Paulo, Bahia, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

2.4 – Principais Usos

As rochas ornamentais têm ilimitadas aplicações. Isto decorre da exploração e combinação de suas qualidades estruturais e estéticas.

O principal setor consumidor de rochas ornamentais é a construção civil, que movimentava elevados volumes no mercado internacional. Participam deste grupo todas as formas de construção de edificações (revestimento interno e externo de paredes, pisos e pilares, colunas, soleiras etc.) quer públicas, como, escolas, hospitais, edifícios administrativos e esportivos públicos ou privadas, residências, condomínios, prédios comerciais, industriais etc.

Outro setor com expressivo consumo é o de revestimento de elementos urbanos: pavimentação de vias, praças, parques, jardins, fontes, bancos ou assentos, calçadas e meios – fios, dentre outros.

A arte funerária em geral se destaca na produção de peças exclusivas para a construção e ornamentação de túmulos.

Arte e Decoração: na produção de obras de arte, tais como, esculturas, objetos e acessórios arquitetônicos e para decoração, como, balcões, bancada de pias, móveis e outros objetos decorativos.

Apesar das rochas ornamentais seja na construção civil, revestimentos urbanos, arte funerária ou arte e decoração, possuem características de distinção e especificações de produtos, os processo de produção possuem uma grande similaridade, do ponto de vista dos recursos tecnológicos utilizados e seqüência de ciclo produtivo até obtenção de um produto acabado para aplicação. O ciclo produtivo engloba três principais etapas: a mineração (pedreira), o beneficiamento primário (serraria) e o acabamento final (polimento e lustre) (Alencar, 1996, Chiodi, 1995).

2.5 – Lavra

As técnicas de lavra utilizadas dependem do tipo de rocha a ser explotada (granito ou mármore), modo de ocorrência (maciço rochoso ou matacão), e fundamentalmente, das características geológicas da rocha a ser lavrada. Em virtude disto, por exemplo, um maciço granítico, bastante fraturado deverá ser lavrado sem utilização de explosivos, tendo em vista que neste caso o uso de explosivos poderá comprometer a recuperação na lavra, inutilizando irreversivelmente toda extração dos blocos (Moya,1995, Chiodi, 1995).

Na fase que antecede a lavra propriamente dita é conveniente conhecer com exatidão a posição do corpo rochoso, seu prolongamento, dimensão etc., de tal modo que se possa planejar a lavra de forma racional e econômica.

Na fase de pesquisa são realizados furos de sondagem, visando obter maiores informações sobre a jazida. Algumas vezes, a sondagem é realizada durante o desenvolvimento da lavra propriamente dita.

Feições geológicas estruturais, são informações valiosas, que podem ser usadas na extração das rochas. Dentre estas podemos destacar: planos de estratificação, fraturas, falhas, contatos geológicos etc., que podem ser aproveitadas para superfícies de blocos. Como na lavra se obtêm blocos com forma de paralelepípedo, e considerando que nos cortes se deve deixar superfícies planas, tanto nos blocos como na frente de lavra, e ainda como as feições estruturais são zonas de baixa resistência, a exploração é simplificada. Isto ocorre, por exemplo, quando a distância entre dois planos de estratificação consecutivos, coincide com um dos tamanhos ideais para o tear (Chiodi,1995).

Em geral, os blocos adequados para utilização num tear devem possuir uma dimensão equivalente a uma do tear. O corte de blocos na pedreira com dimensões compatíveis com tear facilita a fase seguinte, ou seja, o seu desdobramento nas serrarias.

Uma das primeiras tecnologias utilizadas nas pedreiras para extração de blocos, principalmente de mármore, foi a do fio helicoidal, constituído por três fios trançados que compõem o helicóide. Hoje, esta tecnologia se encontra já em desuso, principalmente na Europa, em virtude do aparecimento de tecnologias mais eficientes, modernas e econômicas (Vidal,1995, Alencar, 1996, Chiodi,1995).

Em geral, nas pedreiras, são explotados grandes painéis que, são em seqüência subdivididos em blocos menores, com tamanhos adequados para transporte e beneficiamento nos teares.

Segundo Caranassios e Ciccu, as tecnologias para corte contínuo englobam as atividades realizadas sem a utilização predominante da perfuração e explosivo. Destacando-se fio helicoidal, *flame jet*, fio diamantado e *water jet* (Caranassios,1992).

2.5.1 – Lavra de matacões

Os matacões são porções de um maciço rochoso resultantes da desagregação, em virtude da atuação de agentes intempéricos que trabalham nas fraturas da rochas, favorecendo a erosão e conseqüentemente a sua separação. Sua forma, geralmente arredondada, é devida à esfoliação esferoidal. Os matacões normalmente são encontrados afastados da jazida, devido ao rolamento da sua posição original.

O método de lavra de matacões é largamente utilizado em países em desenvolvimento, principalmente na faixa tropical, onde ocorrem matacões com grandes dimensões.

O processo é realizado com o auxílio de mão de obra sem especialização. Inicialmente o matacão destacado do corpo principal é dividido em duas partes, utilizando pólvora negra, que é carregada em dosagens crescentes, num furo central, localizado no plano preferencial de separação. As partes do matacão são subdivididas e esquadrejadas no próprio local conforme mostram as figuras 1 e 2.

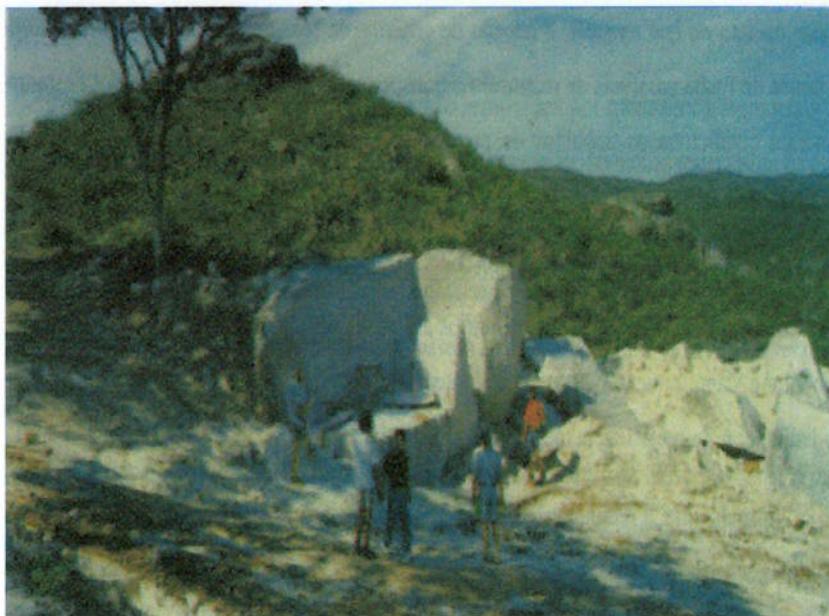


fig. 1 –Aspecto da lavra de matacão

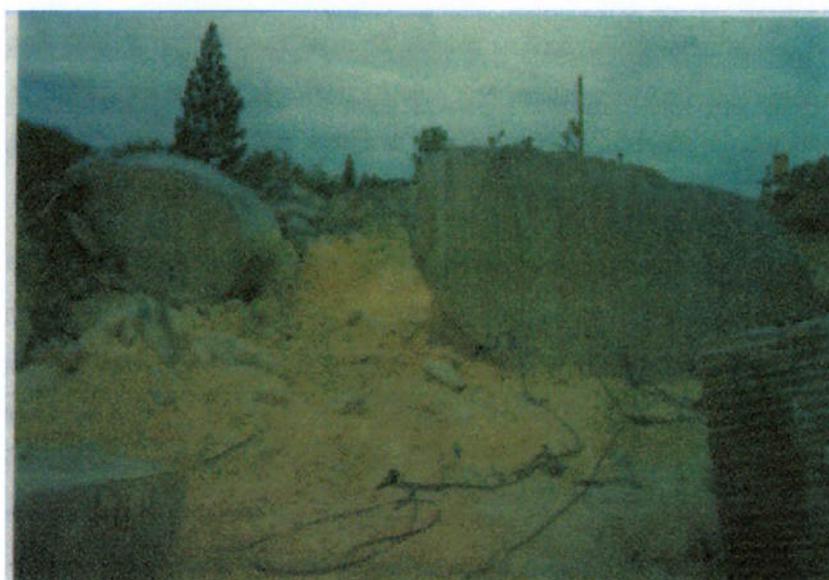


fig. 2 – Perfuração e subdivisão de blocos com explosivos

A viabilidade econômica da lavra depende das dimensões, qualidade e quantidade dos matacões para desdobrar um número razoável de blocos. Na Itália, os matacões lavráveis deveriam ter pelo menos 100m³. Matacões com mais de 100m³ são desdobrados com emprego de explosivos (pólvora negra) carregados em furos tamponados. Se, por um lado, os custos operacionais são relativamente baixos (acessos, equipamentos e pessoal etc.), por outro lado não ocorre com as operações de esquadrejamento de blocos, e pode ocorrer uma recuperação de lavra pouco satisfatória.

Na Europa, atualmente não se exploram mais matacões em virtude da exaustão dos mesmos. Outro aspecto importante é que os depósitos de matacões têm vida útil muito limitada (poucas exceções). A maior parte dos matacões não são aflorantes, sendo descobertos após a remoção do solo, dificultando a previsão da produção da lavra (Chiodi, 1995, Alencar, 1996, Stellin, 2000).

A fase inicial na lavra dos matacões é a limpeza (fig.3), para retirada do solo que o envolve, permitindo o livre acesso e o planejamento do corte desejado. Em seqüência, o furo para o desmonte pode ser realizado manualmente com ferramentas rudimentares ou com o auxílio de um martetele pneumático, atingindo geralmente cerca de 2m de profundidade. A pólvora e estopim são colocados em seguida e o matacão é subdividido em blocos secundários com dimensões próximas às desejadas. O desbaste e esquadrejamento dos blocos são realizados manualmente no próprio local, usando nesta fase como ferramentas auxiliares os "pinchotes" e ponteiros.

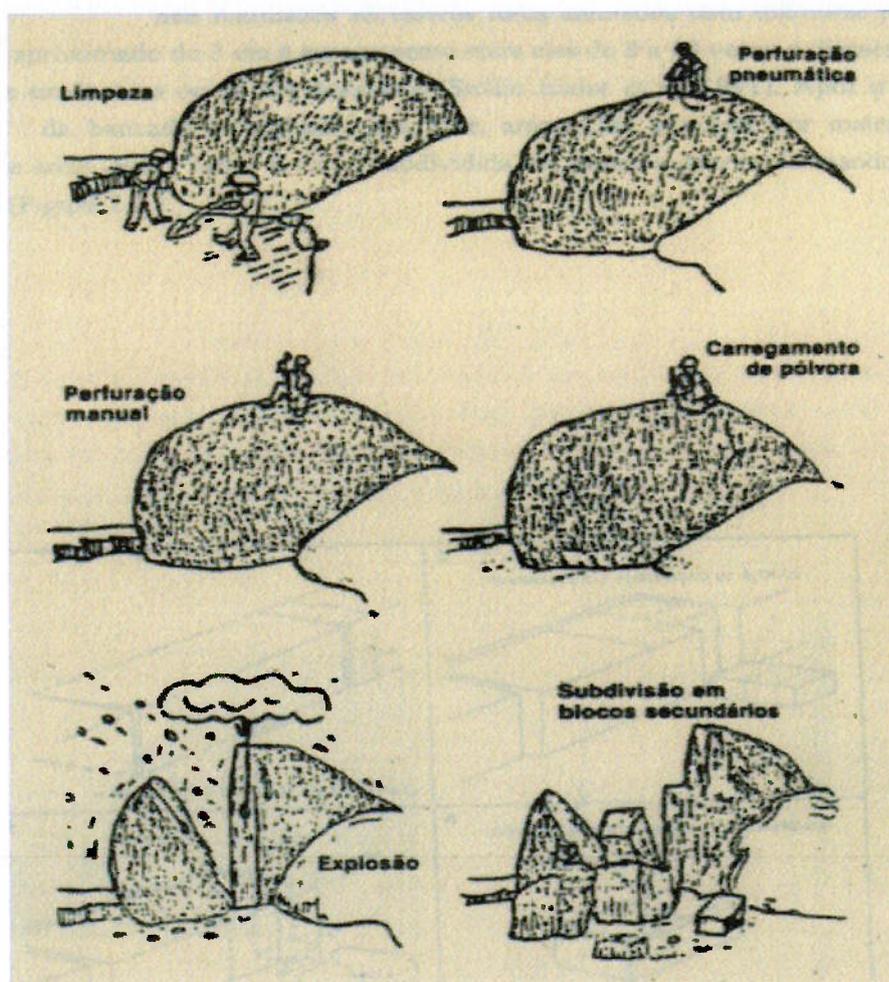


fig.3 – Procedimento para lavra de granito em matacões

Unesco-Unitar, 1988 apud Stellin Jr.,1991

Os rejeitos gerados podem ser utilizados na produção de paralelepípedos, guias para calçamento, brita etc., desde que o centro consumidor fique próximo da pedreira, pois o frete inviabilizaria o transporte a grandes distâncias.

2.5.2 - Lavra de maciços e subterrânea

Os componentes funcionais de uma pedreira moderna incluem degraus, praças principal e secundária, pistas, rampas e frentes. Os degraus são definidos pela altura do topo da bancada. Na praça principal, localizada na base da pedreira, se realiza o esquadrejamento final dos blocos e a preparação para transporte. Nas praças secundárias ocorrem operações de apoio ao desmonte. As pistas e rampas constituem as vias de acesso às praças, enquanto que nas frentes ocorrem as extrações. Outros elementos de interesse econômico para a lavra são as bancadas e os níveis. As bancadas formam unidades primárias, que caracterizam os volumes elementares destacados no maciço, antes do esquadrejamento dos blocos. Os níveis são partes da jazida delimitada por planos horizontais, com autonomia funcional para as operações de lavra (Chiodi, 1995).

Com o desenvolvimento tecnológico, existe uma tendência de se otimizar o aproveitamento das reservas, tentando-se prolongar a vida útil das jazidas. Em virtude disto, observa-se uma tendência de implementar-se a lavra subterrânea, principalmente nas rochas carbonatadas, particularmente nos mármore, por serem rochas mais brandas, ocorrendo maior facilidade de corte com as tecnologias inovadoras, e criação de espaços no subsolo, denominados de salões, que são sustentados por pilares.

De acordo com Ciccu (1989), Caranassios et al. É de extrema importância no projeto de lavra um planejamento e controle rigoroso das atividades de extração, utilizando-se o método de lavra adequado às características da jazida (Alencar, 1996, Vidal, 1995, Chiodi, 1995, Ciccu, 1989).

2.5.3 – Lavra com fio helicoidal

Segundo Bortolussi (1988) et al., a tecnologia de corte empregando o fio helicoidal foi aplicada com sucesso no passado, principalmente em algumas pedreiras norte americanas, nas operações com rochas calcárias (mármore). As rochas carbonáticas são lavradas com utensílios de corte contínuo, em particular com o fio helicoidal associado ao cortador a corrente diamantada. Atualmente, a tecnologia usando o fio helicoidal é considerada ultrapassada, após o surgimento de tecnologias inovadoras, como corte usando o fio diamantado para rochas graníticas. A utilização do fio helicoidal encontrou limitações quanto ao seu uso, devido ao custo elevado do abrasivo e mão-de-obra, processo de corte demorado, e etapas de corte de difícil mecanização. Hoje, o fio helicoidal, quando usado em rochas calcárias, apresenta um desempenho satisfatório em termos de produção e qualidade e custos menores que no processo de corte descontínuo (Vidal, 1995, Alencar, 1996).

A lavra com o fio helicoidal encontra utilização ocasional somente em alguns países em desenvolvimento, que não absorveram ainda técnicas inovadoras de cortes mais avançadas. A viabilidade econômica do processo com fio helicoidal é justificada devido a ser empregado em rochas macias, como por exemplo o mármore, que é cortado com facilidade quando usado areia quartzosa como elemento abrasivo.

Segundo Stellin Jr., a lavra usando o fio helicoidal é pouco praticada atualmente no Espírito Santo. A figura 4 apresenta um esquema de corte de mármore com utilização de fio helicoidal, técnica em desuso nos países europeus (Vidal, 1995, Alencar, 1996). Nas rochas silicatadas, onde a presença de quartzo é nitidamente maior, seria necessário a utilização de carborundum (SiC) como elemento cortante, elevando o custo operacional, em virtude de seu alto custo.

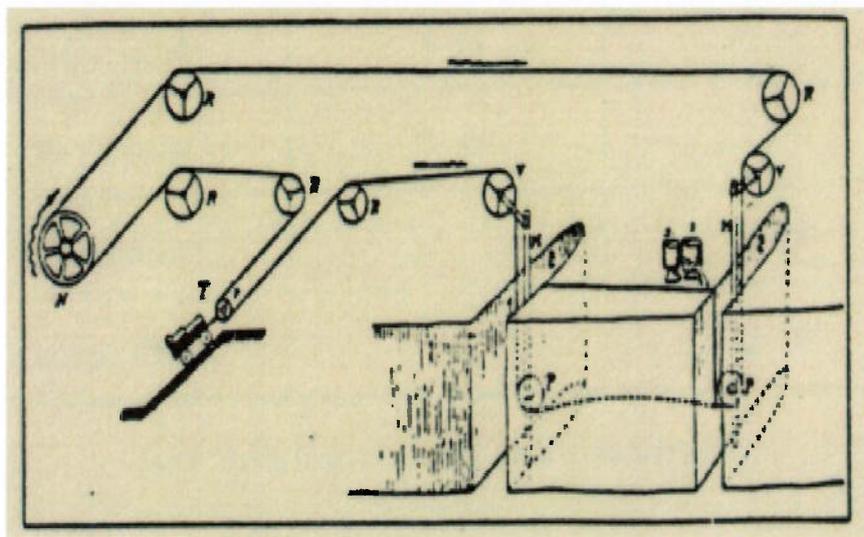


Fig. 4 – Lavra com utilização do fio helicoidal

Fonte: Stellin Jr. et al,1991

2.5.4 – Tecnologia de lavra usando perfuração e explosivos

De acordo com Alencar (1996), Caranassios (1996), Stellin (1994) et al, a técnica de lavra com utilização de explosivos é bastante praticada em granitos, e outras rochas duras até os dias atuais. O método se baseia na utilização de explosivos carregados em furos dispostos, próximos entre si e paralelamente, definindo um plano de corte. Estes furos são carregados com explosivos dosados com uma carga linear extremamente baixa, destinada a promover a ruptura da rocha apenas entre os furos (fig.5). Isto ocorre principalmente nos cortes primários e secundários. O tipo de explosivo e o dimensionamento dos parâmetros do plano de fogo são de vital importância. Este processo tem grande aceitação das empresas voltadas à produção de blocos. O uso de explosivos é de fácil aplicação, e os custos, inferiores àqueles de técnicas alternativas.

A técnica de corte com explosivos tem como principal característica sua fácil adaptação aos mais variados tipos de projeto de pedreira, podendo ser usada como complementação na execução de trabalhos de lavra de matacões. Além disto, oferece a vantagem de escolher os planos de corte secundários e delimitação dos blocos em função dos defeitos apresentados nas superfícies. Acredita-se que a lavra com utilização de explosivos será praticada por muito tempo em função do baixo custo e flexibilidade operacional. Por outro lado exigem-se garantias de melhores níveis de produção, segurança do trabalho e integridade do material, principalmente quando o material se destina ao revestimento de grandes superfícies verticais e sujeitas a esforços dinâmicos (Alencar, 1996, Vidal, 1995).



fig.5 – Corte por perfuração e utilização de explosivo

Bortolussi (1989) et al. comentam que, na França, algumas pedreiras utilizam a pólvora negra devidamente dosada para romper o bloco sem fragmentação. A direção da superfície de destaque é controlada mediante a criação de uma cava e colocação de uma cápsula de explosivo na fratura ao longo da geratriz diametralmente oposta. De acordo com os autores, na Itália, vem se generalizando o uso de cordel detonante. Por ser considerado um alto explosivo, com velocidade de detonação alta, constituído pelo tetranitrato de penta-critritol (nitropenta), detona com velocidade variando de 6.800 a 7.200 m/s e possui diferentes gramaturas com a mesma velocidade de detonação: NP-2 = 2g, NP5 = 5g, NP10 = 10g de nitropenta por metro e assim sucessivamente. O NP10 é o cordel que possui maior energia de choque e, conseqüentemente maior poder de fraturar a rocha.

CARDU (1992) et al., estudaram a técnica de corte com aplicação do cordel detonante, no corte de maciços, descrevendo diversos exemplos de aplicação da técnica de perfuração e explosivos. De acordo com a autora, o método utilizando o cordel detonante é o mais difundido para a extração de rochas duras e abrasivas em maciços rochosos. Na Itália, são consumidos 12.000 km / ano de cordel detonante na extração de rochas ornamentais em corte primário e secundário. As informações levantadas são de pedreiras de granito situadas no norte da Sardenha e englobam corte primário e separação de bancadas secundárias.

2.5.5 - Jato Térmico (*Flame Jet*)

Este método de lavra é bastante aplicado a rochas intrusivas ácidas do tipo granito e sienito (fig.6). De acordo com Bortolussi et al. ele foi utilizado e aprovado com sucesso no taconito de Minnesota nos Estados Unidos.

Neste método de lavra é usado um equipamento que possui uma câmara de combustão, onde são colocados simultaneamente o comburente (ar ou oxigênio) e o combustível (querosene ou óleo diesel), proporcionando uma chama semelhante à de um maçarico oxiacetilênico. A temperatura de saída do gás varia, podendo ultrapassar 1.300° C. Apesar de ser um processo proibido nos países europeus, no Brasil ainda é largamente utilizado, principalmente pelas empresas que visam o baixo custo. Geralmente, a lavra é praticada em rochas silicatadas. O processo de corte da rocha se obtém pelo fato da temperatura elevada da chama promover a dilatação dos minerais, que estão confinados e não podem se expandir adequadamente, causando o rompimento da rocha de acordo com a superfície cristalográfica.

Segundo Caranassios (1996) et al., o uso do jato térmico nas pedreiras de granito solucionou satisfatoriamente a abertura de canais e rebaixos, em virtude da falta de superfícies livres, que inviabilizavam a utilização de explosivos. Apesar de ser largamente utilizado pelas empresas, as perspectivas futuras de aplicabilidade deste processo vão depender de alguns fatores, como por exemplo, custo operacional (combustível), características geológica e estrutural da rocha (anomalias, falhas, veios), impacto ambiental (ruído, poeira etc.). A tabela 2 mostra alguns dados de produção em granitos.



fig. 6 – Corte da rocha usando maçarico - *FLAME JET*.

TABELA 2 – PARÂMETROS DE CORTE NOS GRANITOS USANDO *FLAME JET*

Modalidade operacional	Parâmetros
Temperatura da chama (°C)	1500 – 2500
Largura do corte (cm)	10
Avanço do corte por passadas (mm)	6,0
Velocidade de corte (m ² /h)	0,5 – 1,5
Inclinação (graus)	60
Consumo de ar comprimido (m ³ /min)	10
Pressão de ar comprimido (Mpa)	0,85
Consumo de combustível (m ³ /min)	0,045

Fonte: DIMM – Universidade de Cagliari

2.5.6 - Cortador a corrente

Este método de lavra foi inspirado nos cortadores de carvão utilizados na década de 30. Em 1965 foram usados na Bélgica e França para produção de mármore. Na década de 70, essa técnica foi aperfeiçoada passando a ser aplicada nas pedreiras de mármore da Itália (fig.7).

As cortadoras de corrente possuem braços que variam de 2 a 3m de comprimento, e são utilizáveis para mármore. Este tipo de equipamento possui bastante flexibilidade, proporcionando cortes verticais e horizontais com espessura variando entre 3 a 5cm, e seu desempenho é considerado bom, com velocidade de corte entre 3 a 6 m²/h. No início da adoção deste processo a ferramenta de corte era à base de carvão de tungstênio (WC), inspiradas nas utilizadas na extração subterrânea dos carvões no final da década de 30.

Hoje, o cortador de corrente é formado por um braço onde desliza uma corrente com plaqueta diamantada, acionada por motores. Atualmente o cortador de corrente é um recurso integrado ou de preparação para o uso de outras técnicas, como, o fio diamantado. Essa técnica é bastante utilizada em aberturas de galerias, em virtude da flexibilidade de movimentação na vertical e horizontal dos seus braços. Sua aplicação é recomendada para jazidas com poucas fraturas, para não prejudicar o rendimento das bancadas.

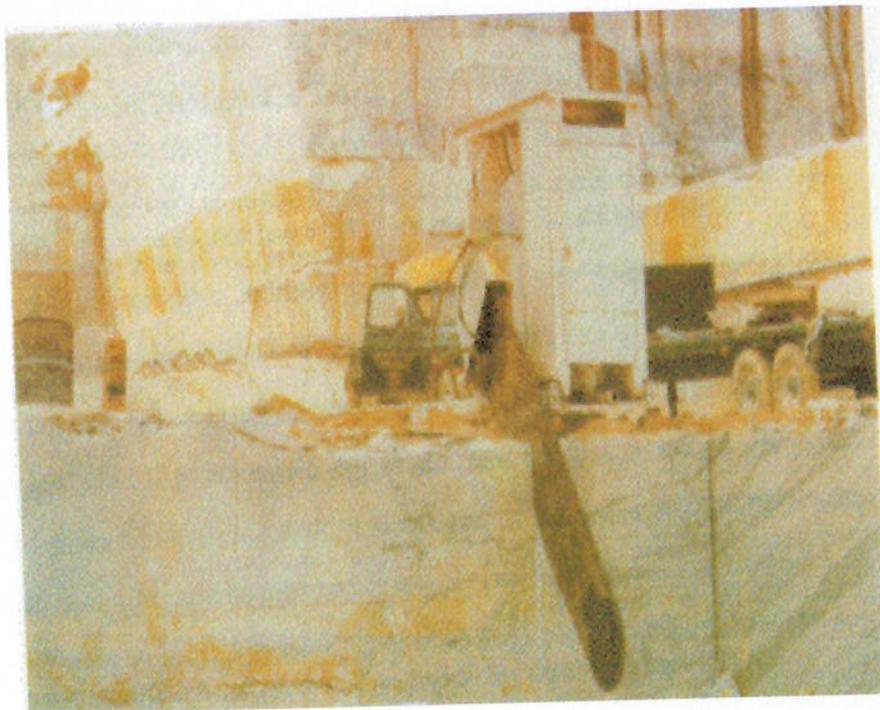


fig. 7 – Cortadora de rocha utilizando corrente

De acordo com Alencar (1996) et al. com o surgimento de técnicas mais avançadas e competitivas, satisfazendo as necessidades de uma pedreira moderna, serão possíveis a utilização de corte contínuo, fio diamantado, “*water Jet*”, que devem agilizar o processo de substituição no terceiro milênio.

2.5.7 – Jato de Água (*Water Jet*)

A tecnologia de lavra utilizando jatos de água é considerada inovadora e se encontra em fase de desenvolvimento, visando sua utilização nas pedreiras de rochas ornamentais. O processo de corte é realizado por jatos de água gerados por bombas de alta pressão, que atinge 400MPa. Colocados próximo da rocha, os impactos dos jatos produzem o desprendimento dos fragmentos. Apesar dos estudos se

encontrarem em fase avançada, iniciados há mais de dez anos, somente agora o corte com a tecnologia "Water Jet" a grande velocidade vem sendo utilizado normalmente em escala industrial, em vários setores. Existem casos de pedreiras nos Estados Unidos, França, Itália, Japão, dentre outros, que adotaram este método em sua plenitude industrial (fig.8) (Bortolussi, 1988).

A aplicação da tecnologia *Water Jet* constitui um dos maiores avanços no campo do desmonte de material em virtude de sua flexibilidade inerente e eficiência. Este método tem se expandido rapidamente a outros setores da prática industrial em diversos materiais, desde os macios até os duros (Ciccu, 1993).

Essa tecnologia pode ser utilizada satisfatoriamente em rochas com granulometria cristalina bem definida e nas que apresentam microdescontinuidade, como granitos e arenitos. Nas rochas carbonatadas (mármore), sua aplicação não é recomendável.

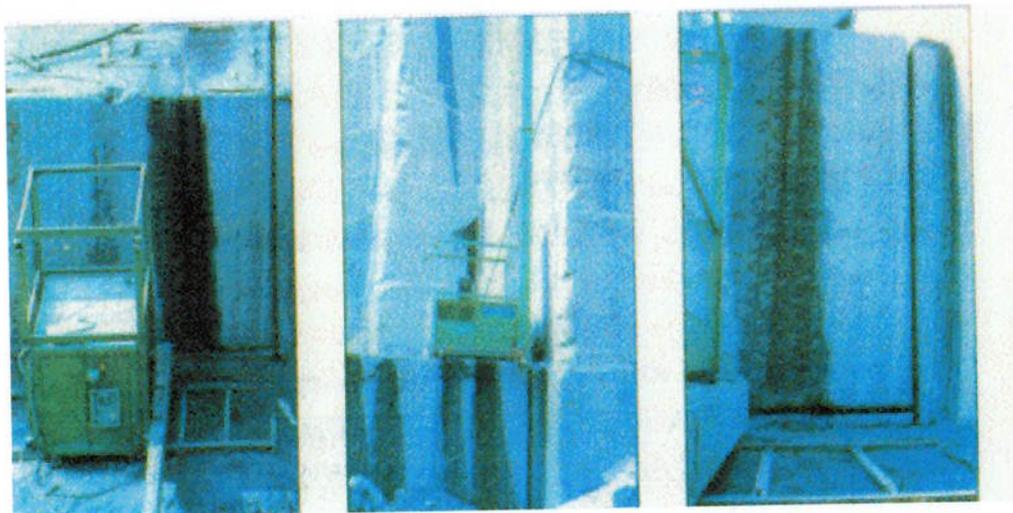


fig.8 – Corte de granito com jatos de água de alta pressão, Water Jet

As superfícies produzidas no corte, apesar de serem rugosas, apresentam formas regulares. A espessura do corte varia de 2 a 5cm, conforme o tipo de rocha, vazão e pressão da água, modelo do bico e haste utilizada.

O equipamento de corte é formado por uma central de pressurização, haste, bico e uma estrutura de suporte que regula os movimentos que devem ser realizados, pois o corte é realizado com passadas sucessivas. A haste deve se movimentar por todo o comprimento do corte e penetrar no sulco produzido para manter o bico próximo da rocha.

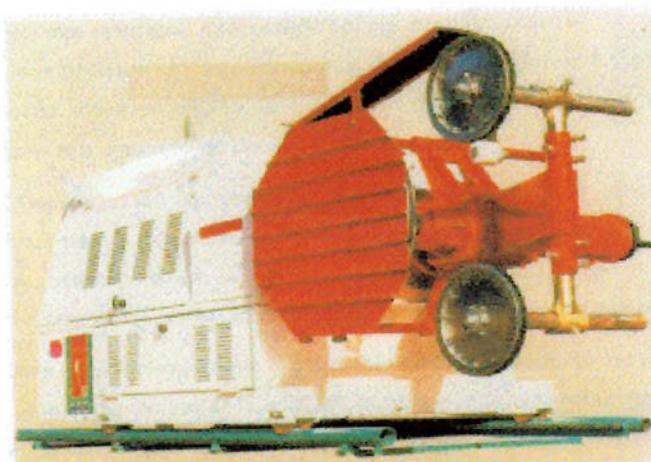
A principal vantagem consiste na redução do custo operacional representado pelo desgaste. Por outro lado, devem ser controlados rigorosamente os parâmetros operacionais como pressão e vazão de água, velocidade rotacional e translacional dos jatos etc.

Com esses controles, a tecnologia *Water Jet* torna-se cada vez mais competitiva do ponto de vista energético com relação ao corte com explosivos. Dentre outras vantagens, podemos destacar: reduzida emissão de partículas suspensas no ambiente de trabalho e baixos níveis de ruídos e vibrações. Com melhor recuperação da lavra, as áreas destinadas à deposição dos rejeitos são minimizadas. Algumas desvantagens do processo são: alto investimento inicial; custos operacionais altos em virtude do consumo de energia.

2.5.8 - Fio diamantado

Segundo Caranassios (1991), Ciccu (1992), Bortolussi et al. (1988), os métodos de lavra usados nas rochas ornamentais vêm registrando um crescente progresso. Isto ocorre em decorrência do aperfeiçoamento de tecnologias tradicionais

ou do surgimento de tecnologias inovadoras, apresentando custos menores e maior precisão do corte, tornando viável sua aplicabilidade. As tecnologias inovadoras de corte são baseadas, por um lado, no uso de elementos diamantados (fio, disco etc.) e do outro, naqueles que adotam jatos de água abrasivos com elevada pressão. As tecnologias de corte usando elemento diamantado (fig.9) assumiram amplo uso nas pedreiras de calcário, apresentando um progresso notável do ponto de vista do equipamento e desenvolvimento do método.



**fig. 9-Equipamento para corte com
uso do fio diamantado**

Verifica-se sua aplicação progressiva, em substituição à tecnologia dominante no passado, o fio helicoidal. O corte usando o fio diamantado apresenta maior produtividade, tanto pela velocidade de corte, quanto pelo melhor esquadrejamento dos blocos, proporcionando menores perdas na lavra e beneficiamento, podendo ser aplicado tanto no corte de mármore como de rochas silicatadas (granitos), e efetuar cortes nos sentidos horizontal e vertical (fig.9). A velocidade de corte é 2,5 m²/h em granitos e 15 m²/h em mármore, mais elevada que com o fio helicoidal (1 a 2 m²/h).

As figuras 10 e 11 apresentam equipamentos utilizados na lavra com fio diamantado. O consumo dos fios depende da tensão aplicada e da velocidade de deslocamento, atingindo-se 1m/30m² em mármore e 1m/4m² em granitos.

As principais vantagens da utilização do fio diamantado consistem no custo do equipamento, que não é elevado, e proporciona rápido retorno do investimento; além disto, menos mão-de-obra operacional e menor tempo de instalação (Chiodi, 1994, Alencar, 1995, Vidal, 1999).



**fig.10 – Lavra com fio diamantado na empresa Fontex
Carmo da Mata /MG¹**

¹Relatório de visita ao quadrilátero granítico/CETEM-1999



fig.11–Equipamento para acionamento do fio diamantado

CARMO DA MATA /MG¹

2.6 – Beneficiamento

2.6.1 - Caracterização tecnológica de rochas ornamentais

Para a caracterização tecnológica de rochas para fins ornamentais, é necessário realizar vários ensaios físicos e petrográficos, onde tornam-se conhecidas as peculiaridades dessas rochas. Dentre os ensaios mais importantes podemos mencionar: índices físicos (massa específica aparente, porosidade aparente, e absorção de água), resistência à flexão, impacto de corpo duro, resistência à compressão, dilatação térmica linear, congelamento e degelo, desgaste Amsler,

¹(Relatório de visita ao quadrilátero granítico/CETEM-1999)

módulo de deformabilidade estática, alteração e alterabilidade. Passamos a comentar cada um deles.

Resistência à Flexão (NBR 12763).

Neste ensaio é determinado o módulo de ruptura à flexão da rocha, caracterizando portanto a resistência de uma rocha quando a mesma é submetida a ações conjuntas de compressão e tração. Isto é, o valor máximo de tensão de flexão a que a rocha pode ser submetida antes de sua ruptura.

Impacto de Corpo Duro (NBR12764).

Neste ensaio, é determinado o grau de tenacidade do material e desta forma, a capacidade maior ou menor da rocha suportar uma ação mecânica. Na fig.12 está apresentado um equipamento para realização do ensaio de resistência ao choque. A rocha que se deseja avaliar é colocada deitada no plano horizontal. Inicialmente um peso de 1 kg é solto de uma altura prevista de 20 cm, impactando a superfície da rocha, ocorrendo assim uma deformação, caso a rocha não se rompa. O ensaio é repetido com o peso sendo solto de alturas maiores, as alturas vão aumentando de 5 em 5 cm, até que ocorra a ruptura da rocha. Os ensaios são executados de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR – 12764.



fig.12 – Impacto de Corpo Duro

Resistência à Compressão (NBR12767).

Este ensaio fornece o esforço de compressão máximo, que o corpo rochoso é capaz de suportar, quando submetido à compressão. Mede portanto, a tensão que provoca a ruptura do corpo rochoso, é um índice valioso da qualidade das pedras de revestimento. Maiores valores de resistência à compressão implicam, de um modo geral, em baixos valores de porosidade e alta resistência à flexão. Quanto mais alterada e microfraturada for a rocha analisada, menor valor terá de resistência à compressão.

Índices Físicos (NBR12766).

Da avaliação destes índices (massa específica aparente, porosidade aparente, e absorção de água) resultam indicações referentes às condições físico-mecânicas gerais e microdescontinuidades da rocha. Passamos a comentar cada um deles.

Massa específica aparente: este ensaio reflete a razão entre o peso da amostra seca e o seu volume, revelando-se um índice importante para o aproveitamento de blocos rochosos. A massa específica aparente pode variar conforme a textura, composição e grau de alterabilidade da rocha. Para a determinação dos índices físicos são usados 10 fragmentos de rocha com 5 a 7 cm de diâmetro, os quais são pesados ao ar, após secagem na estufa a 110° C (peso A), após saturação em água por 48 horas (peso B) e na condição submersa, após saturação (peso C), segundo as diretrizes da norma NBR 12766 (Azevedo et al. 1994).

Os valores são obtidos através das expressões:

$$\text{Massa específica aparente seca} = \frac{A}{B - C} \text{ kg / m}^3$$

$$\text{Massa específica aparente saturada} = \frac{B}{B - C} \text{ kg / m}^3$$

- porosidade aparente: este é um parâmetro importante para as pessoas envolvidas na produção e comércio de rochas ornamentais: a porosidade aparente mede o volume dos vazios do material avaliado. São usadas as seguintes referências:

Baixíssima porosidade	até 1%,
Pequena porosidade	de 1% até 2,5%,
Regular porosidade	de 2,5 até 5%,
Alta porosidade	Maior de 5%.

Uma rocha com grande porosidade, e portanto alto índice de absorção de água, será mais suscetível ao ataque dos seus minerais pela água ou agentes químicos, apresentando menores valores de resistência a esforços mecânicos, e resultando numa aceleração do processo de intemperismo, devido ao contato maior entre a solução e o grão mineral.

$$\text{Porosidade aparente} = \frac{B - A}{B - C} \times 100$$

- absorção: este ensaio avalia a capacidade que a rocha possui de absorção de água. Os valores de absorção de água e porosidade são bem correlacionados com os de resistência mecânica da rocha. Considerando um mesmo tipo litológico, quanto maior o peso específico aparente, menores os valores porosidade e absorção de água.

B - A

$$\text{Absorção de água} = \frac{\text{-----}}{A} \times 100$$

Ensaio Petrográfico (NBR 12768).

Complementando os ensaios físicos, são realizados também os ensaios petrográficos, para retratar a natureza, textura, composição mineralógica, forma e estado de alteração dos minerais formadores da rocha, indicando ainda minerais friáveis que comprometam a durabilidade do material, microfissuras e classificação petrográfica. Para a realização dos estudos petrográficos, inicialmente são preparadas lâminas delgadas, visando a classificação da rocha. É importante detectar a ocorrência de minerais deletérios (pirita, argilominerais expansivos, minerais alterados etc.), que acarretará desgaste diferencial e estético (Vidal, 1995, Moya, 1995, Chiodi, 1995).

Coefficiente de dilatação térmica linear (NBR12765).

Mede a dilatação linear do material em condições de temperatura crescente. É a relação entre o aumento de temperatura e a dilatação linear do material. Serve para se calcular as juntas de dilatação entre as placas de rochas instaladas. (Vidal, 1995, Alencar, 1996, Guedes, 1989, Chiodi, 1995).

Segundo Silva (1999), o ensaio é executado com dois corpos de prova cilíndricos (por amostra) de 3,2 cm de diâmetro e 7 cm de comprimento. São aquecidos de 0 até 50° C e resfriados de 50 até 0° C (Frazão, 1993).

Os valores do coeficiente de dilatação térmica linear são calculados através da expressão:

$$\beta = \Delta L / (L_o \Delta T)$$

onde:

β = coeficiente de dilatação térmica linear (mm / m. °C);

ΔL = incremento do comprimento do corpo de prova (m);

L_o = comprimento do corpo de prova (m);

ΔT = incremento da temperatura (°C).

Módulo de Deformabilidade na Compressão (NBR12769).

É a relação entre a tensão de esforço e a deformação longitudinal do material. Segundo Silva (1999), este tipo de ensaio é realizado quando as rochas destinam-se à exportação, principalmente para os países do hemisfério norte. O procedimento é o seguinte: faz-se ciclos de congelamento à temperatura de 17 °C / 24 horas, seguido de degelo, por 8 horas, nas condições ambientais do laboratório (Frazão, 1993).

Após 25 ciclos de congelamento / degelo, os corpos de prova são submetidos a ensaios de compressão uniaxial, calculando-se a tensão de ruptura de acordo com a expressão:

$$C = W / A$$

Onde:

C = tensão de ruptura (MPa)

W = força de ruptura (kN)

A = área de carga do corpo de prova (m²)

Módulo de Deformabilidade na Flexão (NBR12763).

É a relação entre a tensão de flexão e a deformação, índice importante quando a rocha é destinada ao uso como material de revestimento de edificações, coluna ou viga.

Resistência ao Desgaste por abrasão (NBR 12042).

Conhecido também como desgaste AMSLER. Fornece um índice de desgaste, em milímetros, sofrido pela rocha em um percurso abrasivo de 1.000 m (fig.13). Neste ensaio é simulado, por exemplo, o tráfego de pedestres sobre a rocha.

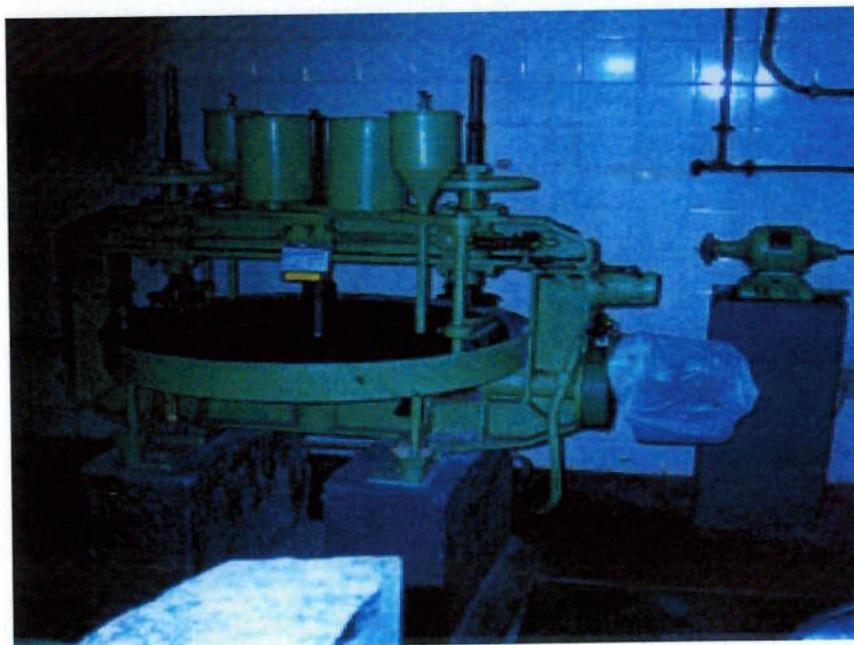


fig.13 – Equipamento de ensaio à abrasão Amsler

Alterabilidade dos Materiais

O ensaio para medir a alterabilidade dos materiais ainda não está normatizado. Apesar disto, é um dos mais importantes ensaios, pois determina a resistência da rocha, quando submetida a diferentes produtos químicos, tais como, produtos de limpeza, sulfato de sódio, solicitações naturais e artificiais que acarretam sua alteração físico-química. Os agentes naturais estão relacionados ao intemperismo, deformação e erosão, enquanto que os artificiais, à lavra, beneficiamento, manuseio e aplicações. As alterações ocorridas por estes agentes são definidas por desgaste, perda de resistência mecânica, fissuração e mudança de coloração (Moya, 1995, Chiodi, 1996, Vidal, 1995).

2.6.2 – Desdobramento de blocos

A industrialização de mármore e granito passa por três fases importantes:

- **Extração:** Consiste na lavra de blocos nos maciços ou matacões;
- **Beneficiamento:** Consiste na serragem dos blocos em chapas semi-acabadas, de espessuras variadas, usando equipamentos denominados de teares ou talha – blocos;
- **Acabamento:** Consiste no polimento da chapas semi-acabadas, corte em tamanho padrão e afeiçãoadas, dando forma e acabamento ao produto final (Stellin, 1998).

O beneficiamento primário das rochas ornamentais ou de revestimento ocorre na serragem de blocos brutos extraídos das pedreiras, ou em alguns casos com forma de placas quando se tratar de quartzitos e ardósias.

Com dimensões variando entre 5 a 10 m³ (fig.14), os blocos são desdobrados em chapas nos teares ou talha-blocos. Esta atividade de serragem constitui a primeira etapa do processo de beneficiamento. Em seqüência, as chapas recebem acabamento final e esquadrejamento até chegar ao seu tamanho padrão previsto ou solicitado pelo cliente. O processo de serragem dos blocos pode produzir chapas com espessuras variadas (1 a 3cm), podendo atingir até 6 cm, dependendo da utilização final do material (Chiodi,1995, Alencar, 1996, Stellin, 1998).



fig. 14 - Granito verde de Nova Venécia com 2,8 x 2,2x 1,7m

O beneficiamento de blocos maiores, para produção de chapas com espessura de 2 a 3 cm, geralmente é realizado nos teares, por ser melhor utilizáveis, enquanto que os blocos menores são mais indicados nos talha-blocos, por serem a produção de chapas antieconômica nos teares (Chiodi, 1995, Alencar, 1996, Stellin, 1998).

Os teares produzem o corte dos blocos através de um quadro de lâminas de aço paralelas, posicionadas na parte superior do bloco, e que desenvolvem movimentos retilíneos, pendulares ou curvo-retilíneos-curvo sobre o bloco.

O sistema de corte utilizando talha-blocos é realizado através de discos diamantados com capacidade de corte de até 1,2 m.

2.6.2.1 - Serraria da Marbrasa

Em agosto de 1998 foi realizada visita à serraria e efetuada amostragem na barragem de rejeitos, localizada a cerca de 60m do galpão da serraria. Foram coletados cerca de 307 kg de resíduo na forma de lama, com a finalidade de estudar o seu aproveitamento.

A serraria da Marbrasa possui 20 teares, onde são desdobrados mármore e granitos. A produção da serraria na época era de 38.000 m² / mês. O pátio de armazenamento estava com um grande estoque de granito verde (fig.15).

Os teares se encontravam em operação, desdobrando somente este tipo de material, proveniente das pedreiras de Nova Venécia, situadas ao norte do Estado do Espírito Santo. A produção tinha como objetivo atender uma solicitação de um cliente. O bloco desdobrado está apresentado na figura 16.



fig.15 - Pátio de estocagem de blocos da Marbrasa



fig.16 – Placas de granito após desdobraimento

Rejeitos da Serraria

Segundo Kraus (1996) e outros, em decorrência da utilização constante de água durante a serragem dos blocos, existe a formação de polpa, constituída de água mais particulado do material do bloco que estiver sendo serrado, bem como, material da serra diamantada, este em menor proporção.

A água usada no polimento e na serragem é, em geral, drenada até tanques de decantação ou barragem de rejeitos, onde o tempo de permanência nestes tanques, faz com que a maior parte do particulado sólido se precipite. Periodicamente, há necessidade de limpeza dos tanques ou barragem, onde a lama rejeitada é removida da marmoraria e destinada a aterros ou jogados no meio ambiente. Além da lama, são rejeitados dentre outros, as aparas resultantes de porções não aproveitáveis comercialmente e restos de abrasivos, discos, lixas.

Segundo Ferreira (1996), uma serrada de bloco granítico com dimensões média, produz em torno de 92 kg de pó de pedra por hora trabalhada, o que equivale

a algo em torno de 7,7 toneladas por serrada completa, que dura em média de 5 a 6 dias (tabela 3).

TABELA 3 - TAXA ESTIMADA DE GERAÇÃO DE RESÍDUO MINERAL

Carga – 80 lâminas	80 Canaletas
Comprimento da carga	2,90m
Largura das canaletas	7mm = 0,007m
Altura da serrada:	
a) na unidade de tempo	2 cm / h = 0,02 m / h
b) na carga completa	170 cm = 1,7 m
a) $80 \times 2,9 \times 0,007 \times 0,02$	$0,033 \text{ m}^3 / \text{h}$
b) $80 \times 2,9 \times 0,007 \times 1,70$	$2,75 \text{ m}^3 / \text{serrada}$
a) $0,033 \text{ m}^3/\text{h} \times 2.800 \text{ kg} / \text{m}^3$	$92,4 \text{ kg} / \text{h}$
b) $2,75 \text{ m}^3/\text{serrada} \times 2.800 \text{ kg} / \text{m}^3$	$7.700 \text{ kg} / \text{serrada}$

$1 \text{ m}^3 = 2.800 \text{ kg}$

2.6.2.2 - Beneficiamento com teares

Os teares são equipamentos robustos constituídos por quatro colunas, as quais sustentam um quadro que realiza movimentos pendular (fig.17). No quadro, as lâminas de aço carbono são posicionadas paralelamente no sentido longitudinal. O bloco a ser serrado é posicionado sob o quadro de lâminas e constantemente banhado por uma lama abrasiva que, após ser bombeada, retorna ao circuito, constituindo assim um circuito fechado. O procedimento de corte nos teares envolve uma polpa composta de fragmentos do bloco, água, cal e granalha. Esta polpa é despejada continuamente na parte superior do bloco e tem como objetivo limpeza através do transporte da massa no processo, resfriamento das lâminas, otimização do corte etc.

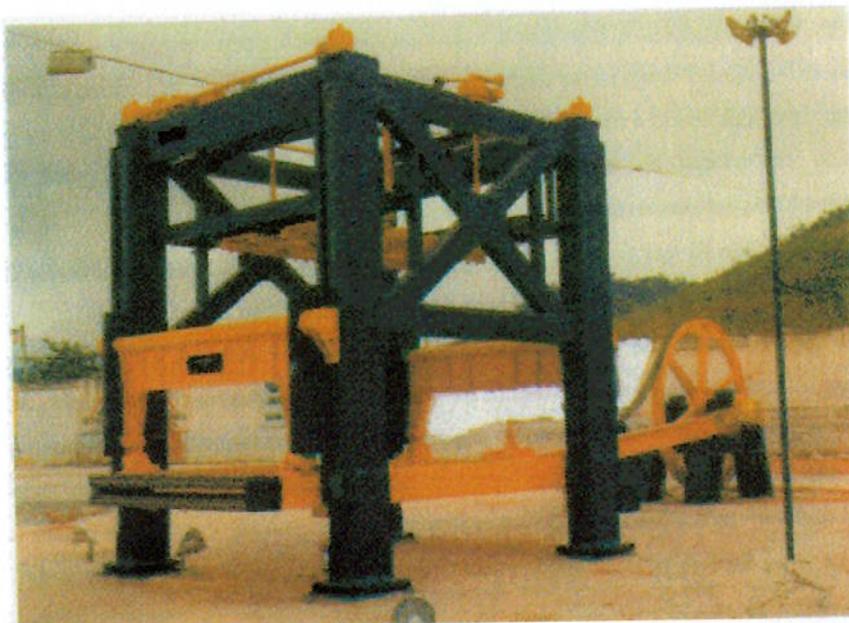


fig.17 - Tear convencional mostrando colunas de sustentação

Nos teares maiores podem ser serrados dois blocos simultaneamente, podendo os blocos atingir até 2 m de altura e 4 m de comprimento. Estas dimensões são compatíveis com a largura máxima admitida para as chapas nas politrizes (Chiodi,95).

Para facilitar o processo de corte, se evitam na mesma serrada, blocos com altura, dureza e espessuras de chapas diferentes, visando não provocar o desgaste diferencial das lâminas, vibração e fragmentação do material.

Na pedreira geralmente é realizado um esquadreamento preliminar dos blocos, para obter uma padronização nas dimensões do bloco, facilitando as etapas seguintes: fixação dos blocos nos teares, serragem, melhoria da produtividade e redução da produção de rejeitos na serragem (Chiodi, 1995, Alencar, 1996, Stellin, 1998).

A operação de corte requer alguns ajustes nos teares, as lâminas são tensionadas manualmente com cunhas ou automaticamente através de tensores

hidráulicos. Quando as lâminas são pouco tensionadas, provocam má planicidade nas superfícies das chapas e diminuem a velocidade de corte. No caso oposto, tensionamento excessivo, provoca o encurvamento das lâminas e consequentemente o aparecimento de sulcos nas superfícies das chapas.

Teares mais modernos dispõem de controle automático da alimentação e mistura da polpa abrasiva, pois a alimentação deve ser sem variação e a viscosidade da lama não pode ser excessiva.

A granalha, elemento abrasivo adicionado à polpa, é misturada com água e cal; a granulometria ideal dos seus grãos deve ser de 0,7 mm a 1,2 mm, com 30% na forma esférica e 70% angular.

Nos teares de lâmina de aço, a velocidade de corte é em torno de 20 a 30 cm/h nos mármore e 2cm/h nos granitos. Nos teares com lâminas diamantadas, o avanço do corte situa-se entre 50 e 60 cm/h nos mármore e 4 cm/h nos granitos.

Segundo Chiodi (1995), os teares brasileiros possuem desempenho inferior, em termos de qualidade e produtividade, aos italianos. Essa deficiência ocorre devido aos seguintes fatores:

- Existência de maior tecnologia nos teares italianos;
- Mão-de-obra brasileira menos qualificada na operação e manutenção dos equipamentos;
- As condições de instalação dos teares e controles inadequados utilizados nas serrarias. Esses fatores tendem a reduzir a produtividade e a qualidade.

2.6.2.3 - TALHA – BLOCOS

Esses equipamentos são usados para a serragem de blocos menores e esquadreamento. Utilizam discos diamantados, seu maior emprego é na produção de lajotas, e cortes de grande profundidade (fig.18). Existem ainda as talha-chapas com discos diamantados que são muito utilizadas nas marmorarias para realização de cortes mais rasos.

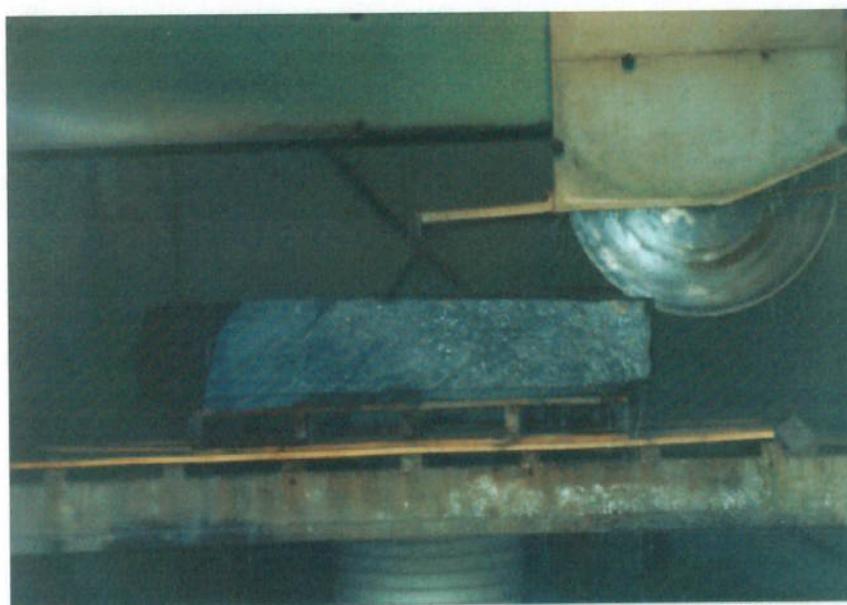


fig.18 – Talha - blocos mono disco

Classificação de talha-blocos

- Mono-disco, para corte de grande diâmetro;
- Mono-eixo / multi-discos, para discos de mesmo diâmetro ou dois diâmetros diferentes;
- Multi-eixo / multi-discos, os discos de diâmetro crescente colocados em linha.

Os talha-blocos de última geração, italianos ou alemães, apresentam produtividade média (em termos de m^2 / m^3), 10% superior à dos teares, permitindo o aproveitamento de materiais de primeira qualidade em blocos menores, e que seriam antieconômicos nos teares. Além disto, os talha-blocos permitem movimentos do eixo em ângulos variados (vertical até horizontal) produzindo diferentes formas de corte dos materiais (Chiodi, 1995, Alencar, 1996).

O custo médio de produção em talha-blocos é ligeiramente superior ao dos teares (preço equipamento, discos diamantados), por outro lado, os talha-blocos apresentam precisão de corte, podendo cortar chapas com menor espessura (menor vibração), maior produtividade; operação e manutenção (troca de discos), podendo ainda promover cortes simultâneos para diferentes materiais (Chiodi, 1995, Alencar, 1996).

2.6.3 - Beneficiamento complementar

2.6.3.1 – Polimento e lustre

As técnicas complementares de beneficiamento final são as que conferem as características dimensionais, de conformação e especificação ao produto final: os processos de acabamento final, que ressaltam a coloração, textura e aparência da chapa e corte, que confere as dimensões, forma e desenhos, acabamento das bordas etc. (Chiodi, 1995).

O processo de polimento tem por finalidade conferir à superfície da peça brilho e lustre que realcem a coloração dos diferentes minerais constituintes da rocha. O brilho e lustre são obtidos através da eliminação da rugosidade da superfície da peça

e pelo fechamento dos poros dos diferentes minerais ou cristais que constituem o material. Nesta etapa são utilizados elementos abrasivos de granulometria decrescente que, através de movimentos de fricção sobre o material, vão desbastando-o até alcançar o grau de polimento almejado. Neste processo é utilizada, água, que é o elemento de refrigeração e limpeza dos resíduos gerados.

O abrasivo comumente usado é o carbeto de silício, em diferentes granulometrias e formas, formando rebolos de formas distintas, conforme sua aplicação. Os rebolos que utilizam grãos de diamante como elemento abrasivo, apresentam, em relação ao primeiro, maior velocidade de polimento e seu uso está consagrado na Europa, principalmente na Alemanha e Bélgica.

O processo de polimento está subdividido em duas etapas, o levigamento e o polimento. O levigamento é a fase inicial do processo, tem como objetivo eliminar as rugosidades mais acentuadas, geradas na superfície da chapa através do processo de corte, nos teares ou talha – blocos, a obtenção de uma perfeita planicidade da superfície e espessura mais regular e uniforme da peça. A chapa levigada apresenta melhor definição da cor do material e dos cristais dos minerais que a constituem.

O polimento constitui a etapa de efetua o fechamento dos poros da superfície do material. Tenta-se obter o máximo de brilho que o material possa atingir, acentuando-se as diferenças de tonalidades dos minerais presentes na peça, destacando-se as cores escuras e obtendo-se uma superfície espelhada.

Os processos de levigamento e polimento são realizados através de politrizes ou polideiras, encontradas em diversas configurações e modelos. Existem três principais tipos de politrizes que, passamos a comentar a seguir:

- Politrizes manuais de bancada fixa;
 - Politrizes de ponte móvel com bancada fixa;
 - Politrizes multicabeças com esteira transportadora.
-
- Politrizes manuais de bancada fixa

Usadas em pequenas marmorarias, cujo volume de produção não justifica o investimento em equipamento mais moderno. A produção no polimento de granito varia 1 a 2 m²/h, depende da experiência do operador e da qualidade da superfície serrada. Para se otimizarem as operações de polimento são construídas duas, três ou até quatro bancadas para uma mesma máquina, aproveitando-se o conjunto dos rebolos abrasivos do cabeçote para o polimento de até quatro chapas antes de proceder à sua troca. As variações da qualidade do polimento dependem exclusivamente da ação direta do operador. O uso das politrizes manuais é bastante restrito, em virtude de suas limitações com respeito à produtividade e qualidade. Apesar de não ser recomendado, devido ocorrer chapas com defeitos originados na serrada (microtrincas), é comum o uso dessas politrizes em unidades industriais modernas de beneficiamento.

- Politrizes de ponte móvel com bancada fixa

Possuem uma ponte montada sobre trilhos suspensos. Sob a ponte é construída uma bancada de concreto, onde são colocadas as chapas a serem polidas.

O comprimento da bancada deve ser suficiente para receber uma quantidade de chapas adequadas à otimização do uso dos rebolos abrasivos.

O polimento é efetuado através do deslocamento da ponte sobre a bancada, ao longo do seu comprimento, juntamente com o movimento transversal do conjunto moto-redutor / cabeçote, ao longo da ponte e ao movimento de rotação do cabeçote. O polimento ocorre a cada passada de um jogo de abrasivos com dada granulometria, que é substituído em seqüência dos grãos mais grossos para os mais finos, até a obtenção do lustro final. Esta máquina, por ser antiga, vem sendo usada em pequena escala de produção.

- Politrizes de multicabeças com esteira transportadora

Essas máquinas são as mais modernas e funcionais, desenvolvidas para o polimento de chapas, tanto de mármore, como de granitos.

A máquina possui chassi de ferro fundido ou aço, que segura uma bancada plana, sobre a qual corre uma esteira de borracha que movimenta as placas a serem polidas. Sobre a esteira, e disposta longitudinalmente a ela, existe uma trave que sustenta os conjuntos moto-redutor e cabeçote. Os movimentos da esteira que conduzem as placas e os movimentos de rotação dos cabeçotes e transversal da trave proporcionam todos os deslocamentos necessários à ação dos abrasivos no processo de polimento. Os abrasivos são posicionados no cabeçote em seqüência, do grão maior para o menor, de tal forma que, ao sair no final da esteira, a peça se encontre polida.

Os modelos oferecidos no mercado possuem de 8 a 20 cabeças, e a produtividade é tanto maior quanto maior for o número de cabeças. Com relação aos abrasivos, são oferecidos no mercado uma seqüência de 12 a 16 granulometrias diferentes. Os modelos mais modernos possuem controles pneumáticos da pressão dos cabeçotes polidores, e altura conforme a espessura das chapas. A automação desses equipamentos é elevada, com facilidades operacionais, como previsão da velocidade da esteira e trave, abastecimento e desabastecimento automático sem operador, alarme para indicar o fim dos rebolos abrasivos em cada cabeçote. Esses equipamentos possuem microprocessadores, fornecendo ao usuário um conjunto de informações do processo, como tempo de operação, paradas, quantidade polida, consumo de abrasivo, dentre outras. A existência de mesas basculantes e de rolo, para abastecimento e desabastecimento das chapas e secagem das chapas na saída das esteira, confere às referidas máquinas um caráter de linha de produção, podendo atingir produtividade de cerca de $40\text{m}^2/\text{h}$ de material polido no caso de granito de dureza média, desde que a chapa apresente boa qualidade da superfície cortada. O polimento com a politriz de multicabeças é o mais recomendado quando se deseja alta qualidade e uniformidade de lustre com produção elevada.

As politrizes de multicabeças de esteira são oferecidas no mercados em dois tipos: uma para granito e rochas eruptivas em geral e outra para as rochas menos duras, como mármore e similares. A diferença entre esses tipos é relativa ao cabeçote polidor, à estrutura e robustez. As máquinas usadas em rochas mais duras são reforçadas para suportar maiores esforços durante o polimento (fig. 19).

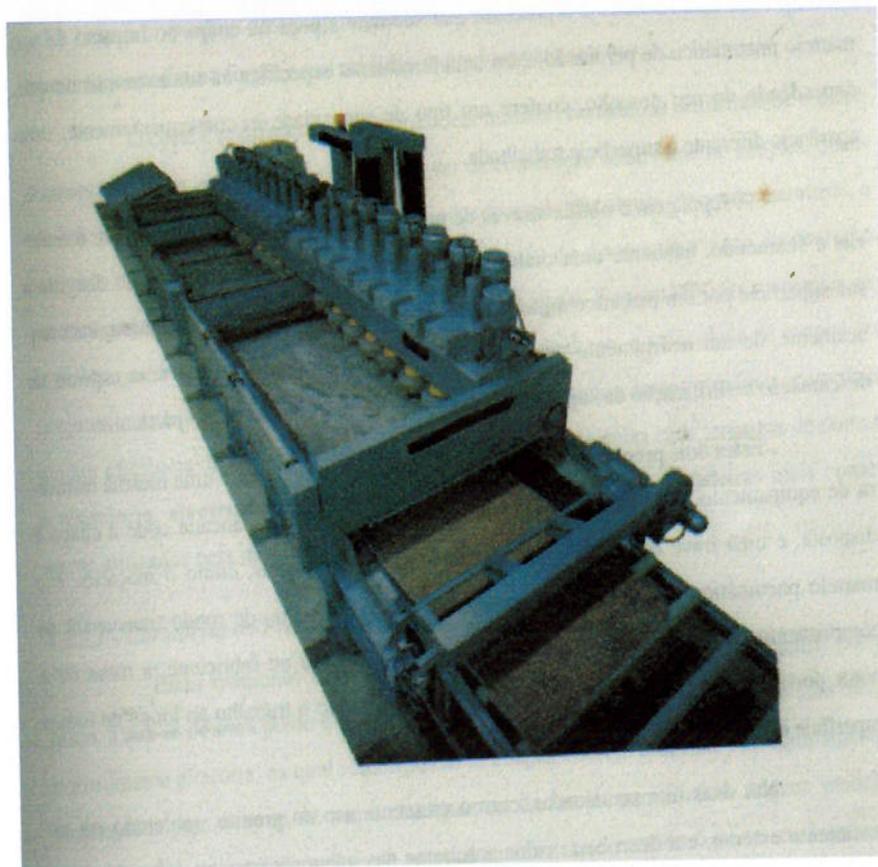


fig. 19 – Politriz multicabeça com esteira transportadora

2.6.3.2 – Apicoamento e flamagem

A tendência mundial do mercado de construção é utilização de pedras rugosas, principalmente como piso antiderrapante, recomendadas para escadas e áreas externas. Estes tipos de acabamento superficial procuram explorar as diversas características de aparência das rochas ornamentais, através do tratamento do material com choque mecânico no apicoamento e choque térmico no caso da flameagem (fig. 20 e 21).

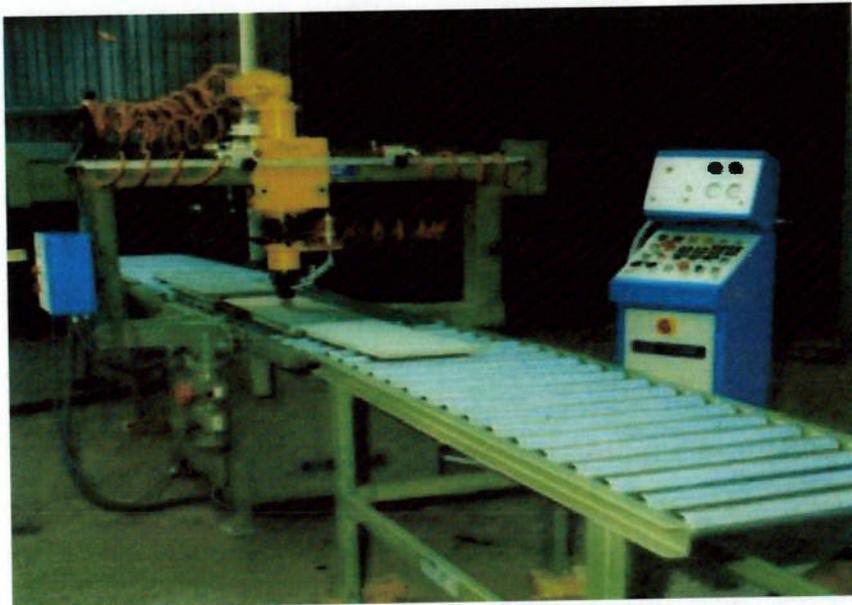


fig.20 – Máquina para apicoamento

Catálogo da Marmomacchine Pellegrini, Italy

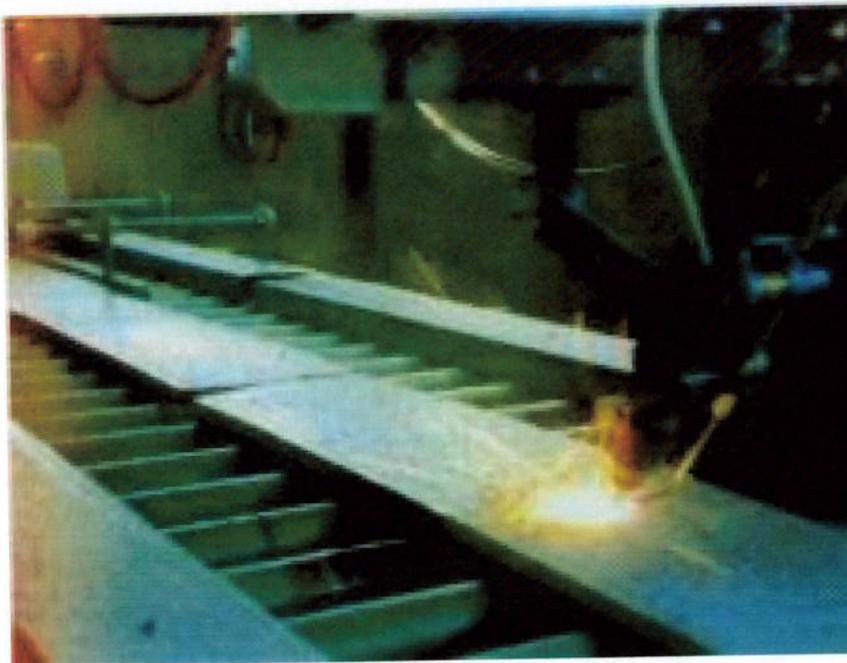


fig.21 – Máquina para flameagem

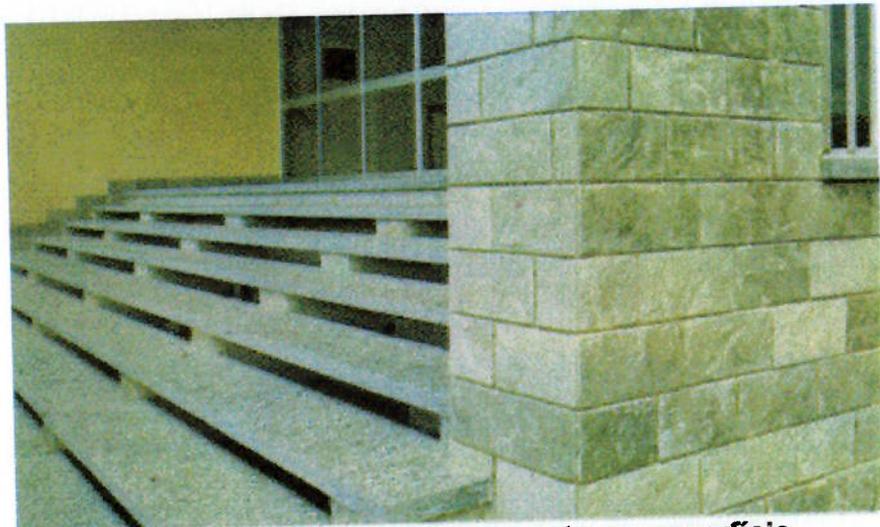
Catálogo da Marmomacchine Pellegrini – Italy

No apicoamento, a chapa ou peça é submetida ao impacto de um martelo pneumático de percussão, com uma ferramenta específica na sua extremidade, dotada de pícolas, conferindo uma rugosidade na superfície trabalhada, garantindo um tipo de revestimento durável e resistente, especialmente às intempéries (figuras 22 e 23).

Na flamagem, flambagem ou flameagem, o material é submetido a um processo de choque térmico, mediante uma chama de alta temperatura (3.000 °C), que é direcionada à sua superfície por um maçarico a gás, com chamas simples ou múltiplas, seguida do resfriamento instantâneo com água. Esse choque térmico promove uma descamação, os grãos dos minerais são arrancados por diferença de dilatação térmica, e vitrificação da superfície, dando-lhe um aspecto rugoso estético especial e aumentando a resistência da superfície do material à agressão química, sobretudo à poluição ambiental, sendo indicada para granitos. A flambagem é mais vantajosa que o apicoamento, porque permite maior produtividade sem o ruído ambiental causado pelo outro processo.

Ambos os processos de acabamento utilizam uma mesma estrutura de equipamento, que é constituída de mesa ou bancada, onde a chapa é colocada, e a trave ou ponte, onde são fixadas as ferramentas, do tipo maçarico e martelo pneumático. A mesa ou ponte se movimentam, possibilitando o trabalho ao longo da superfície do material.

Nos últimos anos, tem sido crescente o uso desse tipo de acabamento, e os fabricantes de máquinas oferecem modelos mais eficientes e com maior nível de automação (Alencar, 1996, Guimarães, 1994).



**fig. 22 – Acabamento com apicoamento na superfície
produzindo piso antiderrapante**

Catálogo da Marmomacchine Pellegrini - Italy

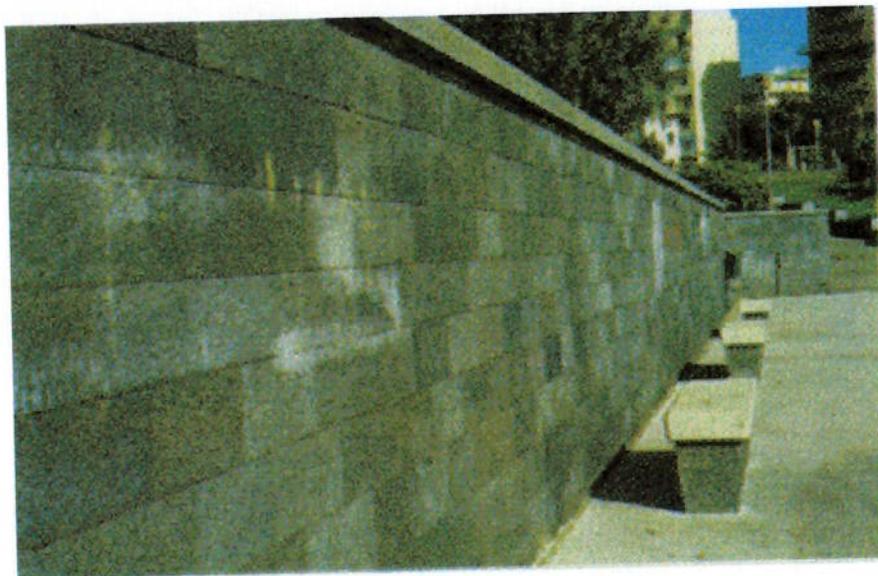


fig. 23 – Acabamento rústico com apicoamento

Fonte: Marmomacchine Pellegrini – Italy

Segundo Guimarães, as empresas brasileiras exportavam somente granito bruto, a preço baixo. Ao ser beneficiado, o produto é valorizado no mercado internacional. Atualmente, as empresas podem fornecer o produto acabado diretamente ao consumidor final com maior lucratividade. As rochas extraídas e cortadas em chapas por teares especiais, podem ser tratadas por inteiro ou já cortadas em ladrilhos.

Os acabamentos mais usuais são o polimento, onde ocorre o desgaste da superfície com ferramenta com granulometria progressivamente mais fina, obtendo-se superfícies lisas e lustradas, no apicoamento a superfície é martelada através de pícolas e na flameagem ocorre a ação da chama, os grãos dos minerais são arrancados por diferença de dilatação térmica, tornando a superfície rugosa e de aspecto natural.

2.7 – Geração de Resíduos Sólidos

No processamento e industrialização de rochas ornamentais, na fase denominada beneficiamento primário, serragem ou desdobramento de blocos em chapas, ocorrido nas serrarias através dos teares, são produzidas grandes quantidades de rejeitos sólidos que são incorporados à polpa. Dessa forma, seja por aspectos econômicos, técnicos e ambientais, têm sido significativas as pesquisas dirigidas na área de meio ambiente, que têm como principal objetivo o desenvolvimento de opções para a utilização desses particulados gerados não só nos teares como também nas pedreiras. Isso significa, portanto, que, quer seja na compatibilização desse rejeito industrial à substituição de matérias-primas, tradicionalmente usadas em várias indústrias, quer seja na perspectiva de

desenvolvimento de outros materiais, existe essa preocupação em diversos países, inclusive no Brasil.

A pesquisa de processos inovativos para a utilização eficaz desses resíduos, pode oferecer vantagens tanto econômicas como para o meio ambiente.

A problemática dos resíduos sólidos industriais, que ficou relegada a um segundo plano durante os últimos anos, agora retorna à atualidade. Os levantamentos realizados pelos órgãos de controle ambiental dos estados, indicam que as empresas não estão gerenciando adequadamente os seus resíduos, isto é comprovado através do grande volume de resíduos que é disposto no solo, em terrenos próximos às serrarias. Além disto, sabe-se que há muito resíduo industrial sendo disposto de forma clandestina, podendo ser comprovado nas visitas às empresas.

Por outro lado, com o advento da ISO 14000, as empresa que exportam e precisam de sua certificação – o que praticamente será uma condição *sine qua non*, terão que quantificar exatamente os resíduos gerados nas suas instalações e estabelecer programas rigorosos de destinação e tratamento, pois não é possível conseguir a certificação havendo passivo ambiental.

Considerando a gravidade da situação atual, os órgãos ambientais já exercem pressão sobre as empresas para resolverem seus problemas relacionados com os resíduos, e essas empresas terão que encarar o problema de frente, em virtude de que a postergação de medidas saneadoras, tenderá a se tornar cada vez mais prejudicial e onerosa no futuro.

2.7.1 – Utilização de resíduo de rocha em solos

Segundo Nasr (1991), a indústria de rochas ornamentais dá origem a um produto fundamental à saúde da terra e do homem. Pesquisadores agrônomos desenvolvem a agricultura orgânica baseada exclusivamente no uso de recursos naturais, com resultados satisfatórios na regeneração dos solo e fertilização das plantas.

O agrônomo Nasr desenvolveu pesquisas no Centro Natural Augusto Ruschi, de Cachoeiro de Itapemirim (ES), onde utilizou o pó de rocha, como mármore, granitos, para regenerar a vida no solo, fazendo com que hortaliças, frutos, atinjam níveis satisfatórios em relação à qualidade, além do custo inferior aos fertilizantes utilizados na agricultura convencional. O pó de rocha é gerado nos teares durante o processo de corte. Atualmente, estima-se que alguns agricultores do Espírito Santo estejam utilizando os métodos indicados pela agricultura orgânica, a exemplo da fazenda São Luiz, em Pedro Canário, localizada na divisa com a Bahia, pioneira no uso de resíduos de mármore e granitos das serrarias de Cachoeiro de Itapemirim. Conforme Ezequias apud Nasr (1991), a Fazenda São Luiz vem testando uma nova fórmula, trata-se da mistura do bagaço de cana com o pó de serragem dos teares, que funciona como um alimento para o solo. O pó de rocha resgata formas de vida pioneiras na formação do solo, como, algas, fungos e líquens, comumente encontrados nas crostas das rochas, eles se integram na decomposição da matéria orgânica, liberando nutrientes para o solo. Assim sendo, devemos ver o pó de rocha como um estimulante para a vida no solo, e responsável pela formação do nutriente agrícola (Nasr, 1991).

2.7.2 - Aproveitamento industrial de resíduos de serrarias

Pereira (1997) e outros, a convite da Secretaria de Meio Ambiente de Cachoeiro de Itapemirim (ES), apresentaram em mesa redonda, os resultados preliminares das pesquisas de aproveitamento de resíduos sólidos do mármore e granito, inclusive a lama abrasiva da serragem e cacos de vidros.

De acordo com aqueles pesquisadores, dentre as peças produzidas com materiais que normalmente são descartados, encontram-se mesas de centro, pisos (denominados pelos pesquisadores de resolito), tijolos e jarras.

2.7.3 - Uso de resíduos como materiais de construção / rede reciclar

Segundo alguns pesquisadores da UFBA (Cassa, 1998), a reciclagem e o aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção é de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos de atividades industriais e urbanas, tais como, mineração, metalurgia, química, construção civil e limpeza urbana.

Alguns resíduos apresentam propriedades que permitem a sua utilização na construção civil, em substituição parcial ou total da matéria-prima, utilizada como insumo convencional. O aproveitamento destes resíduos na construção civil requer uma avaliação dos aspectos econômicos e tecnológicos, bem como, do risco de contaminação ambiental que o uso de materiais com resíduos incorporados poderá ocasionar durante o ciclo de vida do material e após a sua destinação final.

Com base nestas premissas, surgiu a rede Reciclar cujo objetivo é o desenvolvimento de estudos visando o aproveitamento seguro e racional de resíduos

sólidos disponíveis na região metropolitana da Grande Salvador e Feira de Santana para a produção de materiais de construção, incluindo os aspectos econômicos, tecnológicos e ambientais, contribuindo desta forma para o desenvolvimento sustentável da região.

Com esse objetivo foram perseguidas as seguintes metas: mapeamento dos resíduos sólidos, diagnóstico do nível de conhecimento sobre estes resíduos, caracterização tecnológica completa dos resíduos em questão, estudos sistemáticos de aproveitamento fundamentados em ciência e engenharia dos materiais; avaliação de riscos de contaminação ambiental do uso destes resíduos; pesquisa básica a aplicada sobre resíduos selecionados com potencial de comercialização, inclusive estudo e desenvolvimento de produtos não tradicionais.

2.7.4 - Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem

Segundo Freire (1995) et al. a grande quantidade de rejeitos gerados nos teares das serrarias, na forma de lama, tem origem na polpa usada no tear, para lubrificar e resfriar as lâminas, combater a oxidação das chapas, transportar o abrasivo (granalha), além de limpeza dos fragmentos gerados nas chapas. A polpa é composta por água, cal, granalha e rocha moída, e distribuída uniformemente através de chuveiros na parte superior do bloco. Essa polpa retorna ao tanque, sendo bombeada em seguida, configurando – se assim, uma operação em circuito fechado. Com o prosseguimento da operação de serragem, a viscosidade da polpa abrasiva tende a elevar-se, em virtude da incorporação dos fragmentos da rocha moída à mesma, dificultando a serragem e podendo ocasionar defeitos nas chapas e promover o desgaste mecânico das lâminas. O controle da viscosidade da polpa é de

fundamental importância, e é realizado através da adição de água na polpa e descarte da parcela mais fina da polpa, utilizando-se para isto o ciclone. Estima-se que em serradas de chapas de 2 cm de espessura cerca de 20% a 25% do bloco é transformado em rejeito, que é acrescido de fragmentos metálicos provenientes do desgaste das lâminas e granalha, além da cal ou substitutos. Assim sendo, o volume total do rejeito torna-se bastante significativo, seu manuseio, disposição final geram problemas técnicos, ambientais e econômicos para as empresas.

Segundo os autores, algumas características específicas desse rejeito favorecem a sua utilização industrial como carga mineral, em diversos processos industriais, tais como, argamassa e neutralizantes, matéria-prima para cerâmica de revestimento, carga mineral diversas:

- granulometria fina;
- composição definida;
- inexistência de grãos mistos;
- facilidade de separação da fração metálica.

Os estudos iniciados no IPT visavam o aproveitamento da parte não metálica do rejeito, e embora apenas tenham sido realizados ensaios preliminares, acredita-se que esses rejeitos são potencialmente aproveitáveis nos segmentos industriais mencionados, ou seja, indústria cerâmica de revestimento (principalmente pisos), argamassa, neutralizantes etc. No entanto, é necessário a realização de estudos complementares.

2.8 – Purificação da lama proveniente das operações de beneficiamento

2.8.1 - Mesa vibratória

As mesas vibratórias foram desenvolvidas a partir de correias concentradoras contínuas (*vanners*), que utilizavam lâminas de água para efetuar sua separação (Deurbrouck, 1979, Silva, 1998).

De acordo com Lins (1998), a mesa oscilatória consiste de um *deck* inclinado de madeira revestido com borracha ou plástico de alto coeficiente de fricção, possuindo ressaltos, onde ocorrem movimentos assimétricos na direção dos ressaltos, através de mecanismo que produz aumento da velocidade na direção e sentido da descarga do concentrado e reversão súbita no sentido contrário, provocando a redução da velocidade no final do curso.

A mesa Wilfley surgiu a partir do aperfeiçoamento da mesa Rittinger, em 1895. Este tipo de equipamento apresentava maior capacidade produtiva, fazendo sucesso e produzia concentrados com melhor qualidade. O melhor desempenho da mesa ocorreu em virtude de duas modificações essenciais: a colocação de rifles sobre a superfície da mesa e o movimento diferencial.

O sucesso alcançado com a mesa Wilfley, após a comprovação da sua eficiência e funcionamento, contribuiu para o desenvolvimento de novos modelos, com melhor desempenho. Gaudin, destaca como as mais utilizadas, as seguintes mesas: Garfield, Butchand, Card, Deister, James etc.. Esses equipamentos diferem na forma do tablado e mecanismo de acionamento e disposição dos rifles sobre a superfície das mesas (Silva, 1998, Principles of mineral dressing - Gaudin, 1978, Burt, 1984, Tratamento de minérios e hidrometalurgia, 1980).

A mesa vibratória é um importante equipamento de concentração gravítica, vem sendo utilizada há várias décadas em todo o mundo, nos Estados Unidos, Canadá, Austrália, Rússia e Alemanha. Apesar da reduzida capacidade, elas foram usadas como concentradores primários, fazendo grande sucesso, principalmente, no beneficiamento de minerais com granulometria fina. A sua maior aplicação tem sido no beneficiamento de finos de carvão (Burt, 1984, Principles of mineral dressing - Gaudin, 1978, Silva, 1998).

Segundo Lins (1998), os mecanismos de separação atuantes na mesa oscilatória podem ser entendidos se analisarmos separadamente a região da mesa com riffles e a região lisa. As partículas minerais alimentadas transversalmente aos riffles são influenciadas pelo efeito do movimento assimétrico da mesa: ocorrendo um deslocamento das partículas para frente, as partículas pequenas e pesadas movimentam-se mais rápido que as grossas e leves. As partículas estratificam-se entre os riffles em virtude do movimento assimétrico da mesa e turbulência da polpa através dos riffles, fazendo com que os minerais pesados e pequenos fiquem mais próximos à superfície que os grandes e leves. A figura 24 apresenta a estratificação vertical entre os riffles e o arranjo das partículas ao longo dos riffles. As camadas superiores da mesa são arrastadas por sobre os riffles, através da nova alimentação e a água transversal de lavagem. Em virtude da redução da altura dos riffles, ao longo do comprimento, as partículas entram em contato com o filme de água de lavagem que passam sobre os riffles. Assim, a concentração ocorre na região lisa da mesa, onde estão algumas partículas finas.

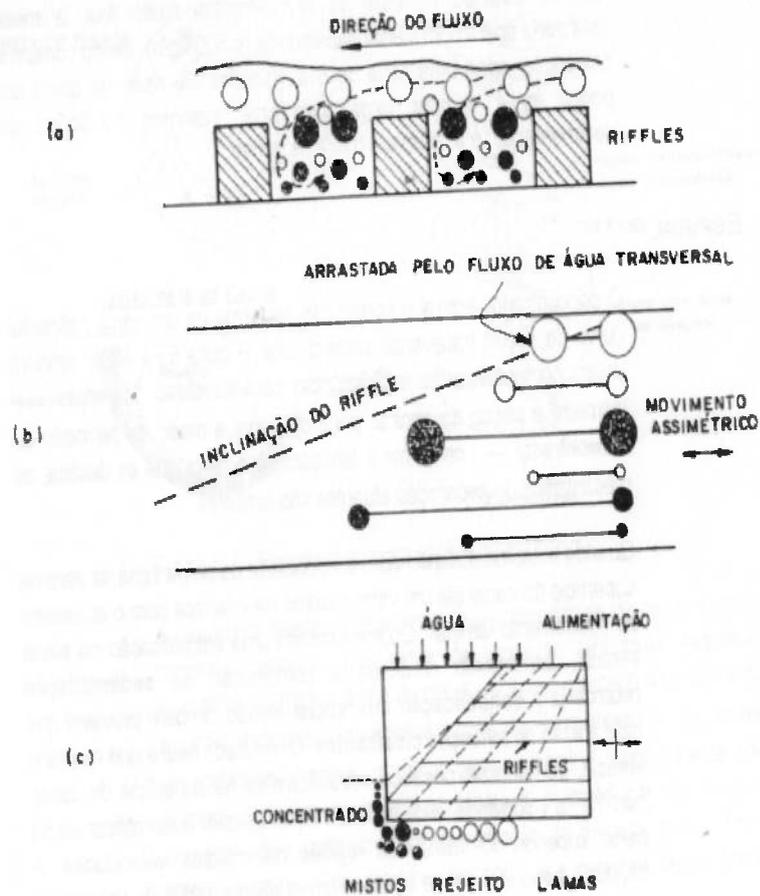


fig.24 – Mesa oscilatória, estratificação vertical entre os riffles

Em 1972 os Estados Unidos beneficiaram mais de 80 milhões de toneladas de carvão metalúrgico. Atualmente, a mesa com duplo tablado é a mais usada em substituição à com único tablado, por razões de economia de espaço (Burt, 1984, Sivamohah, 1985, Silva, 1998).

Zimmerman, Copeland (1960) et al., apresentaram um estudo sobre a utilização de mesas concentradoras aplicadas no beneficiamento de finos do carvão na década de cinqüenta (Zimmerman, 1950, Copeland, 1960, Silva, 1998).

A mesa oscilatória é utilizada há vários anos, constituindo um equipamento conhecido em todo o mundo, e bastante utilizado na concentração gravítica de minérios e carvão. É um equipamento eficiente e empregado principalmente em materiais de granulometria fina. Sua limitação é a reduzida capacidade de produção. Em virtude disto, a sua utilização com minérios de aluvião, se restringe somente à etapa de limpeza de concentrado primário (Lins, 1998).

Com a evolução tecnológica, atualmente as mesas vibratórias têm grande aplicação no tratamento dos óxidos metálicos, tais como, cassiterita, tungstênio, tântalo, nióbio e minerais industriais (BURT, 1984). No Brasil, as mesas vibratórias têm realizado grande sucesso, principalmente no beneficiamento de cromita, tungstênio, ouro e carvão mineral (Luz, 1989, Almeida, 1989, Silva, 1998).

De acordo com Sivamohah e Forssberg (1985), a mesa vibratória não só foi eficiente na separação entre minerais de elevada diferença densitária, como também, para sistemas com baixa diferença de densidade, tais como, barita, sulfeto de ferro, zircônio, ilmenita e quartzo (Silva, 1998).

Mesmo com a existência de considerável literatura sobre mesas vibratórias, a maioria apenas descreve e comenta o desempenho de equipamentos. Algumas publicações apenas se preocuparam com os princípios de funcionamento destes equipamentos (Silva, 1998, Sivamohah, 1985).

2.8.2 – Teoria dos ciclones

Segundo Chaves¹, o ciclone é um equipamento recente desenvolvido pelo Dutch State Mines Department (na Holanda). Hoje é um equipamento padrão para a classificação de finos, entre 20# a 2 μ m.

O ciclone apresenta várias vantagens em relação a outros equipamentos que realizam o mesmo serviço, dentre as quais podemos mencionar:

- capacidade elevada em termos de volume ou área ocupada;
- facilidade de controle operacional;
- operação relativamente estável e entrada em regime em curto período de tempo;
- manutenção fácil e facilitada por um projeto bem feito;
- investimento baixo, proporcionando dispor de unidades de reserva e aumentar a disponibilidade da instalação.

Com relação às desvantagens podemos destacar:

- custo operacional maior que o dos classificadores, devido ao consumo energético gasto no bombeamento;
- eficiência de classificação menor que a dos classificadores (espiral ou rastelos);
- incapacidade de armazenar grande volume de polpa e, com isto, ter efeito regulador.

De acordo com Chaves e colaboradores (1996), o ciclone é constituído por um vaso com parte em formato cilíndrico e parte em formato cônico, dotado de uma abertura de entrada e duas aberturas de saída. Não possui partes móveis. A alimentação é realizada tangencialmente à porção superior da parte cilíndrica do

¹Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – v.1, p. 154 - 166.

ciclone. A abertura de saída localizada na parte inferior da porção cônica é denominada de apex; e por aí descarrega o produto grosseiro da classificação. A outra abertura de saída é denominada de vortex finder, que descarrega o produto fino; consiste em um cano introduzido na porção central da base superior da porção cilíndrica e promove a descarga para cima (fig. 27). É importante notar que o diâmetro do vortex finder é maior do que o do apex.

O parâmetro geométrico mais característico do ciclone é o diâmetro interno da porção cilíndrica e o seu tamanho é referido a este diâmetro, que é expresso em polegadas.

A secção da entrada da alimentação pode variar dependendo do modelo, podendo se apresentar na forma circular como na tubulação ou retangular, exigindo uma peça de adaptação.

O vortex finder consiste em um pedaço de tubo que está localizado na porção cilíndrica e cuja função consiste em dirigir o escoamento do produto fino, e deve ter comprimento suficiente para evitar a passagem diretamente de partículas da alimentação para o overflow (sem que tenham sofrido classificação). Para cada tamanho de ciclone existem diferentes opções de diâmetro do vortex finder. Aumentando o diâmetro, maior a capacidade do ciclone e o diâmetro de corte é alterado.

As dimensões do ciclone variam para cada fabricante, e um mesmo fabricante pode produzir ciclones de mesmo diâmetro, porém com diferentes comprimentos da porção cilíndrica e cônica (com diferentes ângulos da porção cônica).

Os ciclones são geralmente construídos com chapa de aço, e revestidos internamente com borracha (pequeno diâmetro) e material cerâmico (para os de diâmetro maiores). Alguns ciclones são fabricados com poliuretano, enquanto que outros com pequenos diâmetros são mais comuns os ciclones de porcelana. Os revestimentos especiais de carbetto de silício ou ligas metálicas resistentes à abrasão.

Os ciclones são fabricados em módulos, que são manipulados, de forma que as mesmas peças possam ser utilizadas em diferentes modelos, isto é, um ciclone maior difere apenas uma peça cônica adicional, que realiza a transição do tamanho menor para o maior. A porção cilíndrica tem seu próprio diâmetro, porém, pode ter seu comprimento aumentado, colocando apenas mais um módulo cilíndrico. Esses módulos são flangeados, podendo ser conectados através de acoplamento rápido ver figura 25.

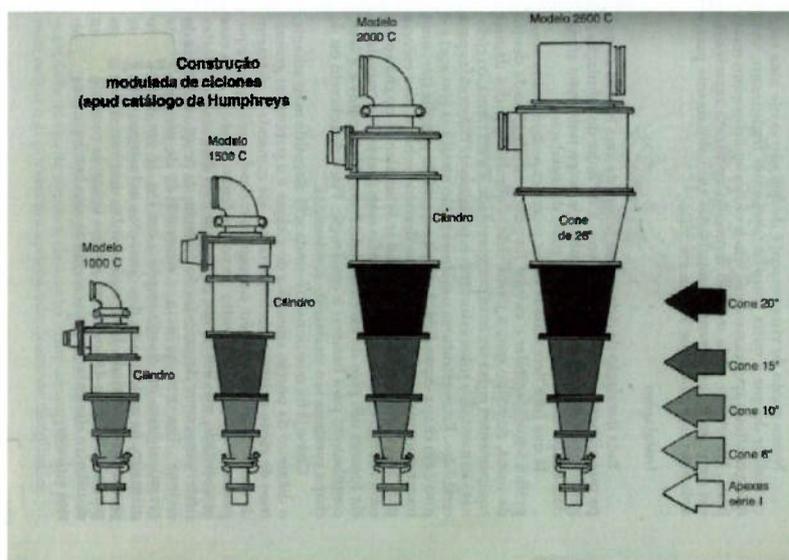


fig. 25 – Modelos de ciclones

Os fabricantes proclamam as vantagens da geometria ou material de construção de seu produto em relação aos seus concorrentes e grande parte da literatura técnica trata disso. Exemplo, a alimentação em ciclones com secção retangular (em vez de circular) teria a vantagem de orientar as linhas de corrente do escoamento de polpa de tal forma a causar uma menor perturbação do escoamento dentro do ciclone. Do mesmo modo, a concordância da entrada, em vez de uma entrada diretamente tangencial, causaria uma menor perturbação do escoamento.

De acordo com Chaves e colaboradores (1996), o objetivo do desaguamento é reduzir a umidade de produtos de outras operações, visando se obter condições exigidas pelas operações subsequentes. Nesta etapa são utilizados vários equipamentos, como, peneiras vibratórias, peneiras DSM, ciclones desaguadores, classificadores espiral, cones desaguadores, pilhas e silos para drenagem. No desaguamento são usados somente métodos mecânicos e resta sempre alguma umidade residual no minério. Na secagem utiliza-se calor, e visa umidade final zero.

O controle do desaguamento no ciclone é efetuado regulando o apex que, ao contrário da operação de classificação deve estar estrangulado.

Na operação do ciclone as partículas sólidas se dirigem ao *underflow* para sair pela abertura do apex. Em virtude de sua massa individual ser elevada, é impossível essas partículas serem arrastadas pelo vortex finder e saírem pelo *overflow*.

No desaguamento, há um estrangulamento do apex, as partículas continuam saindo por ele, porém, a capacidade de vazão através do apex é

reduzida. Em virtude das partículas só poderem sair pelo apex, parte da água não podendo passar, tem que sair pelo *overflow*. Para evitar que a mudança da relação de diâmetros (d_o / d_u) afete a partição, utilizam-se pressões inferiores às necessárias para adequada classificação (velocidade do vortex ascendente e a sua capacidade de arrastar partículas maiores depende da pressão de alimentação no ciclone).

Para se obter um bom desempenho no desaguamento é necessário que a descarga no underflow seja do tipo cordão. A descarga do tipo *spray* é típica de classificação (fig.26). Mudando a descarga do tipo cordão para spray, deixa de ocorrer o desaguamento e passa a ocorrer a classificação.

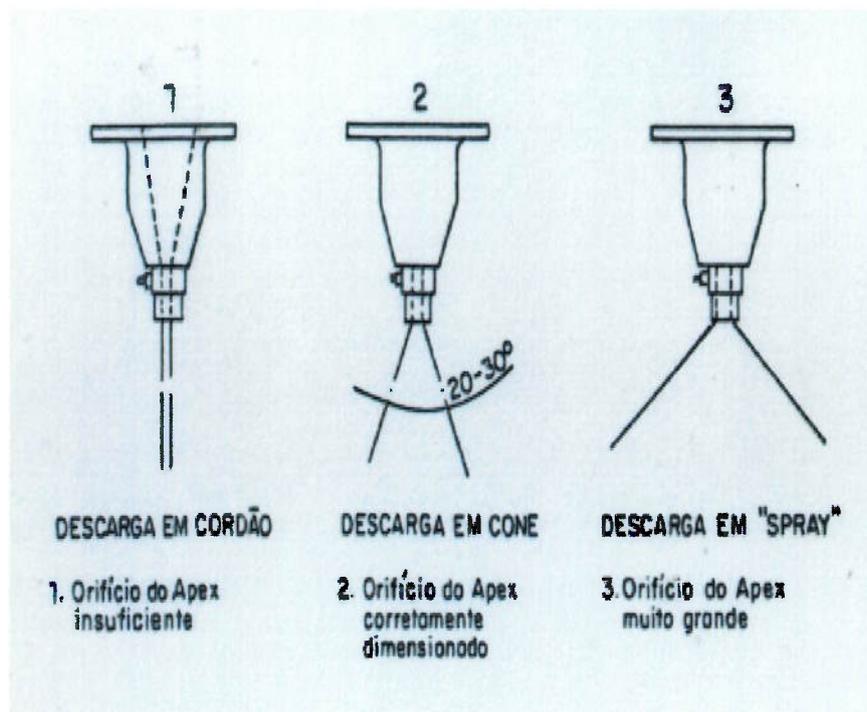


fig. 26 – Tipos de descarga do apex

Segundo Carrisso e Correia apud Luz (1998), os ciclones têm grande aplicação em circuitos fechados de moagem como classificadores mecânicos. O princípio básico de separação usado nos ciclones é o da sedimentação centrífuga, e o seu desempenho é função das suas dimensões, variáveis operacionais, propriedades físicas dos sólidos, e da polpa usada na alimentação.

Os ciclones convencionais possuem uma câmara cilíndrica – cônica com alimentação tangencial e duas saídas (underflow e overflow).

A polpa é alimentada sob pressão na parte superior da câmara cilíndrica. As partículas mais grosseiras e densas são arremessadas contra as paredes e saem pela abertura inferior (apex), constituindo o underflow. As partículas finas e menos densas e a fase líquida são enviadas para o centro do ciclone, saindo pela parte superior do ciclone (vortex finder), constituindo o overflow (fig. 27).

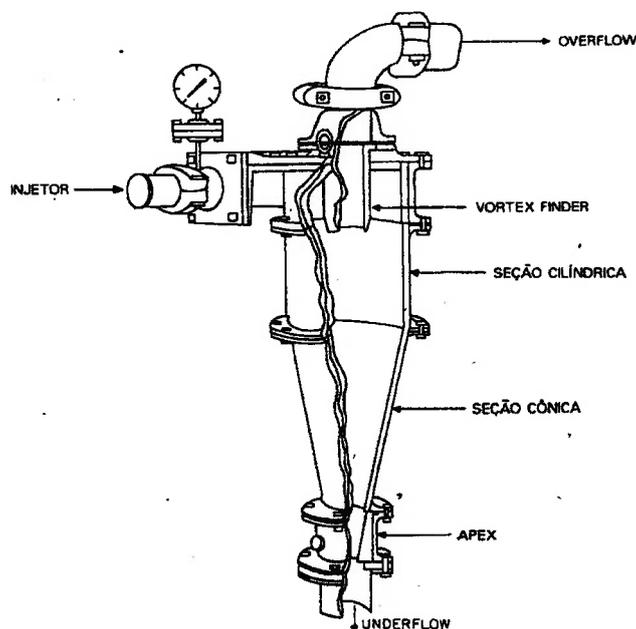


fig. 27 – Esquema de ciclone convencional

De acordo com Carrisso e Correia apud Luz (1998), as principais aplicações dos ciclones são:

- espessamento – eliminação de água de uma polpa;
- deslamagem – retira as partículas finas para filtragem;
- classificação – usado no fechamento de circuito de moagem com *underflow* do ciclone retornando ao moinho;
- classificação seletiva – usando uma série de ciclones para obter produtos com granulometria estabelecida e;
- pré - concentração usando ciclone de fundo chato, pode – se realizar concentração por gravidade, onde os minerais mais pesados são descartados pelo *underflow*.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Amostragem do resíduo

Neste trabalho não foi considerado o aproveitamento de cacos ou aparas de mármore e granitos, provenientes de pedreiras ou gerados no acabamento final.

A Marbrasa acumula seus rejeitos em uma barragem periodicamente, a barragem é secada e os rejeitos acumulados são removidos por retro-escavadeira e caminhão, e transportados como mostram as figuras 28 e 29.



fig.28 – Limpeza da barragem com escavadora e caminhão



fig.29 – Limpeza da barragem e transporte do rejeito para o bota fora

A amostragem foi realizada na barragem de rejeitos, na qual existe um tubo onde ocorre a descarga da lama, através de um jato muito forte, intermitente, e proveniente dos teares da serraria, figuras 30 e 31.



fig. 30 – Tubo de descarga da lama



fig. 31-Descarga de lama dos teares, local de amostragem

Além da amostragem da lama no tubo de descarga, foram coletadas também amostras em vários pontos nas margens da barragem de rejeitos, visando se obter uma amostra global. As figuras 32 e 33 apresentam detalhes da amostragem.



fig. 32-Coleta no tubo de descarga da lama



**fig.33 – Amostragem na borda da barragem de rejeitos
com auxílio de enxada**

A descarga da lama não era contínua: periodicamente havia um jato de lama muito forte (fig.30 e 31). Em seguida o jato da lama parava por completo, sendo necessário aguardar um novo jato para fazer a amostragem. Parte da amostra foi portanto, coletada no tubo de descarga da lama, o restante da coleta foi realizada próximo às margens da barragem de rejeitos, utilizando para isto, como instrumento de coleta uma enxada (fig.33), pois o material estava espesso e continha pouca água. No tubo de descarga da lama a coleta foi realizada com auxílio de uma caneca.

A amostra de resíduo (lama) foi acondicionada em oito (8) sacos plásticos, que totalizaram 307 kg, os quais foram devidamente lacrados para evitar perda de material e contaminação durante o transporte, e colocados em dois (2) tambores e posteriormente encaminhados ao CETEM /RJ, visando os estudos de caracterização e beneficiamento.

3.2 - Preparação da amostra

A amostra de rejeito enviada ao CETEM foi secada ao sol, por três dias consecutivos, em seguida pesada e determinada a sua umidade. Para início dos estudos de beneficiamento, foi necessária a desagregação do material, utilizando-se nesta etapa peneira de 48 #. Com a amostra desagregada foi construída uma pilha de homogeneização, e em seguida foi realizado o quarteamento, com retirada de alíquotas, visando a realização dos estudos de caracterização química e mineralógica, concentração gravítica com mesas, separação magnética de alta e baixa intensidade, estudo com hidrociclone etc., conforme o fluxograma apresentado na figura 34.

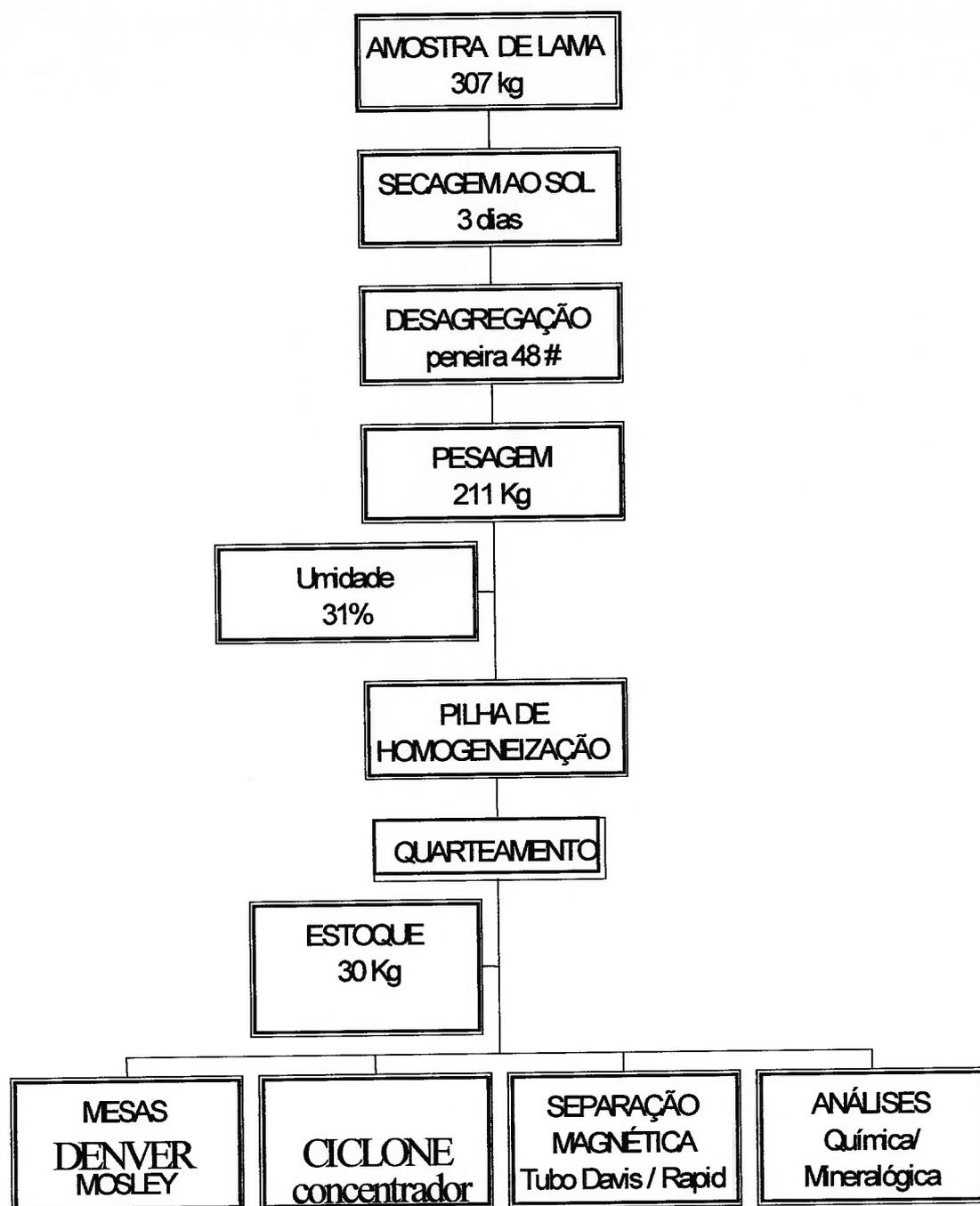


figura 34 – Fluxograma usado na preparação da amostra
para os ensaios de beneficiamento

Os resíduos coletados na forma de lama e destinados ao presente estudo foram inicialmente utilizados para a caracterização química e mineralógica. Em decorrência disto, foi encaminhada ao setor de caracterização mineralógica do CETEM, uma alíquota de 2 kg de amostra representativa (abaixo de 10 malhas), visando caracterizar qualitativa e semiquantitativamente a mineralogia do resíduo.

Foi determinada a umidade da amostra (31%), em seguida a amostra foi secada ao sol, desagregada e pesada, resultando 211 kg de material seco. Após a desagregação, foi construída uma pilha e a amostra foi homogeneizada, e quarteada (fig.35), sendo parte da amostra (30 Kg) colocada em estoque, e parte separada em alíquotas, visando os estudos de caracterização e beneficiamento.



fig. 35 – Pilha de homogeneização dos rejeitos

3.3 - Caracterização Química e Mineralógica

A caracterização mineralógica do resíduo foi realizada através de análises ao microscópio ótico, para a determinação de todos os minerais presentes no resíduo.

Esses estudos foram complementados por análises mineralógicas através de difração de Raios X, em amostras do resíduo obtidas no decorrer da pesquisa, classificação granulométrica, apresentando a distribuição das principais substâncias contidas no resíduo, análises químicas. Executaram-se:

- i. Análises químicas visando a identificação dos elementos;
- ii. Análise ao microscópio ótico para a determinação dos minerais presentes na amostra;
- iii. Difração de Raios X para confirmação dos resultados obtidos no item ii.
- iv . Análise granulométrica

Foram realizadas análises químicas, via úmida, do resíduo para Fe total e os óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , MnO , TiO_2 , Perda ao Fogo, bem como análise semi-quantitativa através de espectrografia ótica de emissão. Os resultados obtidos no decorrer da pesquisa referente às análises químicas e a quantificação mineralógica obtida por difração de raios X (DRX), estão apresentados nas tabelas 4 e 5.

TABELA 4 – ANÁLISE QUÍMICA

ÓXIDOS	(%)
SiO ₂	35,5
Al ₂ O ₃	8,22
Fe ₂ O ₃	6,63
TiO ₂	0,96
K ₂ O	3,44
MgO	6,59
MnO	0,08
CaO	12,62
Na ₂ O	3,15
Perda ao Fogo	14,5

TABELA 5 – QUANTIFICAÇÃO MINERALÓGICA OBTIDA NA DRX

MINERAIS	(Peso %)
Dolomita	29
Quartzo	14
Albita	11
Anortita	15
Microclínio	21
Biotita	1
Anfibólio	< 1
Outros	9
TOTAL	100

3.4 – Análise Granulométrica

Partindo-se de uma amostra de 500 g, e utilizando-se as peneiras de 48, 65, 100, 150, 200, 270, 325 e 400 malhas, foi realizado o peneiramento por via úmida, em peneirador suspenso durante aproximadamente 15 minutos (fig. 36). Os resultados estão apresentados na tabela 6. Observou-se que o material em questão é extremamente fino, com cerca de 58% < 400 malhas (tabela 6), e que as limanhas de ferro provenientes das lâminas de corte, estão distribuídas nas frações ultrafinas. Em decorrência disto, os ensaios realizados nas mesas não foram promissores, pois o material ultrafino era carregado pelo fluxo de água para o concentrado, elevando o teor de ferro neste produto. Observou-se ainda que a granalha (elemento abrasivo) em sua grande maioria está distribuída nas frações grosseiras ($> 150 \#$), podendo ser descartada no início do processo, havendo perdas de apenas 12% em massa.



fig. 36 – Peneirador suspenso (via úmida)

TABELA 6 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS FINOS

MALHA	MASSA (g)	MASSA (%)	ACUM (%)	PASSANTE (%)
+48	5,7	1,16	1,16	98,84
48x65	8,53	1,73	2,89	97,11
65 x100	17,81	3,62	6,51	93,49
100 x150	27,29	5,55	12,06	87,94
150 x200	32,72	6,65	18,71	81,29
200x270	44,52	9,05	27,76	72,24
270x325	38,51	7,83	35,59	64,41
325 x400	27,49	5,59	41,18	8,82
-400	289,24	58,82	100	-----
TOTAL	491,81	98,36	----	-----
Perda: 8,19g		1,64%		

3.5 – Procedimento Experimental

O trabalho experimental foi desenvolvido em escala de bancada e piloto, teve como principal objetivo estudar rotas de beneficiamento, visando o aproveitamento de rejeitos de mármore e granito, produzidos nos teares das serrarias. Os estudos iniciais foram desenvolvidos visando a purificação da amostra e obtenção de concentrados com especificações adequadas para utilizações mais nobres. Em decorrência disto, o desenvolvimento da pesquisa constou de amostragens (pó de serragem) na barragem de rejeitos da serraria da Marbrasa, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. Em seqüência foi realizada caracterização química e

mineralógica do resíduo, cujos resultados estão apresentados no item 4 desta tese, seguida de ensaios de separação magnética de baixa e alta intensidade (via úmida), utilizando-se nesta etapa os equipamentos: tubo Davis, separador magnético Boxmag Rapid, separador magnético de tambor, escala descontínua, separador magnético de carrossel de alta intensidade, Modelo CF-5 e ensaios de concentração gravítica utilizando – se mesas vibratória Denver e Mozley. Em seqüência, foram realizados ensaios de ciclonagem.

Os principais equipamentos utilizados no CETEM no decorrer da pesquisa foram:

- i. separador magnético de baixa intensidade, denominado de tubo Davis;
- ii. separador magnético de alta intensidade Boxmag Rapid;
- iii. série de peneiras tyler;
- iv. mesa concentradora vibratória Denver;
- v. mesa concentradora Mozley;
- vi. ciclone da Akw;
- vii. separador magnético de carrossel de alta intensidade, modelo CF-5, escala contínua;
- viii. separador magnético de baixa intensidade de tambor.

3.6 – Separação magnética de baixa e alta intensidade

Foram realizados simultaneamente aos estudos de caracterização química e mineralógica, cerca de vinte ensaios exploratórios de separação magnética de baixa intensidade utilizando o tubo Davis (fig. 37), e posteriormente com o separador magnético de alta intensidade *Boxmag Rapid* (fig. 38), em ambos os casos houve

variação no campo magnético. As condições usadas nesses ensaios estão apresentadas no item 4, resultados obtidos na purificação da amostra.

Foram realizados ainda ensaios exploratórios de afunda e flutua, cujos resultados estão apresentados no relatório de caracterização química e mineralógica em anexo.



fig.37 – Separação magnética com tubo Davis



fig.38 – Separador magnético Boxmag Rapid

3.7 – Separação magnética com separador de tambor

Foram realizados ensaios de separação magnética de baixa intensidade, via úmida, utilizando – se nesta fase o separador magnético de tambor marca Eriez, modelo L-8, fabricado pela Eriez Magnetics (fig. 39). Este equipamento é bastante usado em pesquisas de laboratório e usina piloto, especialmente na concentração e beneficiamento de minérios magnéticos e purificação de líquidos e polpas contendo como contaminante Fe, é aplicado para pequena usina piloto e possui baixa capacidade operacional.

A alimentação é feita no lado oposto à descarga magnética, enquanto que a descarga do não magnético é realizada pela abertura localizada na parte inferior.

O material magnético fica retido na superfície do tambor, sendo descarregado posteriormente, no lado oposto da alimentação. Uma parte do tambor fica submersa na polpa, facilitando assim a coleta do material magnético. A alimentação deve ser de tal forma que o nível da polpa dentro do tanque se mantenha constante. Os ensaios foram realizados em escala descontínua. A intensidade de campo magnético era regulada através da variação da voltagem.

As condições operacionais dos ensaios foram: percentagem de sólidos na polpa 25%; foram utilizados 10 kg de amostra do resíduo e 30 litros de água; a voltagem variou em torno de 85 v e a corrente 1,8 A, o campo magnético variou de ensaio para ensaio, o ensaio teve duração média de 25 minutos. Os resultados desses ensaios podem ser diretamente relacionados para os que seriam obtidos em escala de produção contínua em usina piloto. Os valores obtidos serão apresentados no item 4 resultados obtidos na purificação da amostra.



fig. 39 – Separador magnético de baixa intensidade de tambor

3.8 – Separação magnética com separador carrossel modelo CF-5

Foram realizados ensaios de separação magnética de alta intensidade (via úmida), em escala contínua (usina piloto), utilizando nesta etapa o separador magnético Equimag, modelo CF-5 (fig.40). Características do separador magnético:

- fabricante: Equipamentos Magnéticos do Brasil - Equimag Ltda.;
- modelo: CF-5;
- alimentação máxima: 500 lb / h;
- velocidade de rotação do tambor: 0 – 10 rpm;
- tipo de grade: “standart”.

Os parâmetros básicos de regulagem do separador de Carrossel CF-5, usina piloto, são apresentados a seguir:

- % de sólidos na polpa 25 a 35 em peso;
- campo magnético: variável entre 0 a 9.000 G, os patamares adotados para de equipamentos industriais são 8.000 e 9.000 G;
- velocidade de rotação do carrossel: variável de 1 a 5 rpm, iniciar a operação com 1 rpm e depois aumentá-la, para 2 e 3 rpm, observando o comportamento da recuperação e teor do minério;
- injeção de água rinse e spray: aproximadamente 2 m³ / h, devem ser instaladas válvulas de regulagem de vazão nos tubos , para facilitar o controle da vazão de água nas matrizes. A injeção de água é um parâmetro de grande importância para se obter variações de teor e recuperação do minério.

- a capacidade do equipamento é função de muitos parâmetros, como tipo de minério a ser beneficiado, granulometria e densidade, teor da contaminação de magnéticos, teor requerido do concentrado final, intensidade magnética, velocidade de rotação do carrossel etc. No início de operação é recomendável alimentar o CF-5 com 200 kg / h.



fig. 40 – Separador de alta intensidade carrossel modelo CF-5

Os resultados obtidos com os ensaios realizados no separador magnético modelo CF-5 serão apresentados no item 4 na purificação da amostra.

3.9 – Ensaios de concentração gravítica em mesa vibratória

Foram desenvolvidos ensaios de concentração gravítica utilizando-se nesta fase a mesa concentradora vibratória Denver (fig. 41), em escala contínua, visando a purificação da amostra, ou seja, a remoção do Fe proveniente da gralha e limalhas

das lâminas de corte, e desta forma, a obtenção de concentrados com especificações adequadas para utilização mais nobres. Os parâmetros controlados foram: granulometria (-150 #), alimentação de sólidos (329 g / min.), vazão de água (6,9 l / min.), tempo de amostragem 5 minutos. Os resultados estão no item 4.



fig.41 – Mesa vibratória Denver

3.10 – Ensaio de concentração gravítica em mesa Mozley

Foram desenvolvidos ensaios de concentração gravítica em escala descontínua, utilizando-se a mesa Mozley (fig.42) com o objetivo de remover o Fe existente na amostra e obtenção de produtos purificados. Os principais parâmetros controlados nesta operação foram: inclinação da mesa (graus), vazão de água de

lavagem (ml / min), vazão de água de irrigação (ml / min), alimentação de sólidos (kg/h), amplitude da oscilação (cm), granulometria (- 150 #), frequência (oscilações / min), e percentagem de sólidos na polpa (%). Os resultados estão apresentados no item 4.



fig.42 – mesa concentradora Mozley

3.11 – Ensaio usando ciclone da AKW

Foi realizado ensaio preliminar de ciclonação na usina piloto do CETEM, usando nesta fase o ciclone de fundo chato da AKW, conforme mostrado na fig. 43. Teve como finalidade obter a máxima redução do teor de Fe contido no resíduo da serraria, através do efeito de concentração, característico destes equipamentos.

O ciclone em questão, foi desenvolvido pela AKW. É um equipamento que possui um corpo cilíndrico sem a parte cônica dos ciclones convencionais. A sua base inferior consiste de um cone com ângulo de 150 ou mais. Em decorrência da sua

configuração, este ciclone é capaz de conseguir cortes mais grosseiros e precisos, em comparação com os ciclones comuns. As especificações do ciclone da AKW foram obtidas diretamente, através de medição com paquímetro.

características do ciclone da AKW de fundo chato:

diâmetro do ciclone	63,5 mm;
diâmetro Inlet	31,7 mm;
diâmetro vortex	38,1 mm;
diâmetro Apex	13,8 mm;
ângulo do cone	$\geq 150^\circ$.

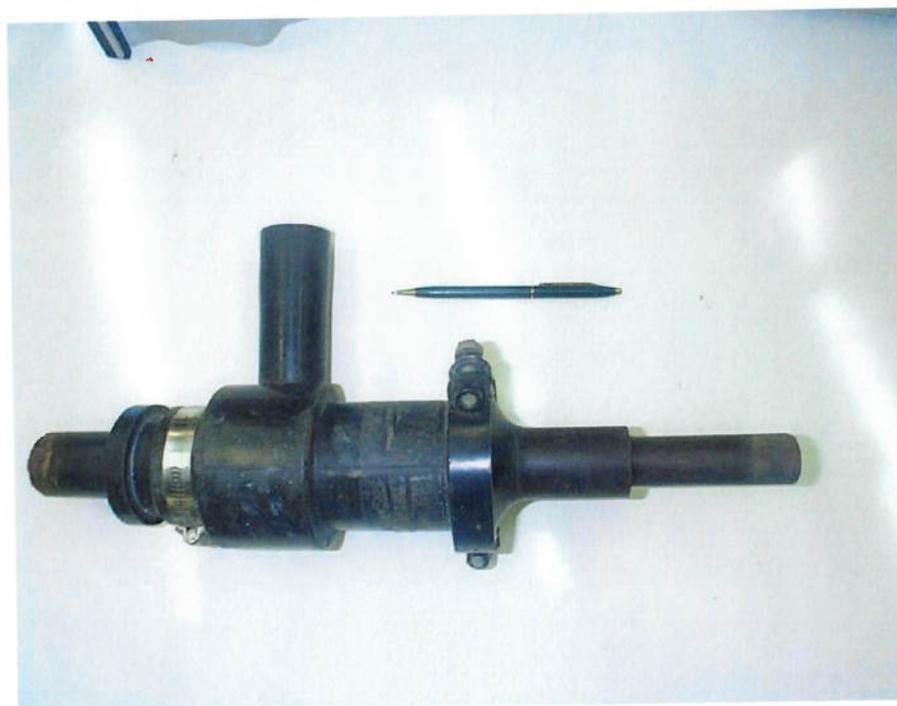


fig.43 – Ciclone da AKW de fundo chato

A variável operacional destacada foi a pressão de alimentação. A percentagem de sólidos na polpa foi mantida constante (25%). A polpa usada foi previamente preparada numa bacia (sump) de 60 l e bombeada por uma bomba horizontal centrífuga através da tubulação de 3/4" e conduzida diretamente para o ciclone. A pressão de alimentação da polpa foi medida através de um manômetro, com escala de 0 a 10 lb/pol² e controlada por registros. A tubulação que continha o manômetro e alimentava o ciclone era de 1/2".

A amostragem dos produtos overflow e underflow foi de 1 minuto, e realizada simultaneamente, sendo as amostras logo após filtradas, secadas, pesadas e encaminhadas para análises químicas, visando dosar Fe.

4 - RESULTADOS OBTIDOS NA PURIFICAÇÃO DA AMOSTRA

4.1 – Caracterização Química e Mineralógica

Os estudos iniciais de caracterização química e mineralógica do resíduo foram desenvolvidos no CETEM, enquanto que os ensaios visando a utilização da amostra (já purificada) na construção civil e indústrias cerâmicas foram desenvolvidos na Divisão de Tecnologia Mineral, da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial em Fortaleza / CE.

Os ensaios de caracterização do resíduo e o procedimento desta caracterização, estão ilustrados no fluxograma apresentado a seguir (fig. 44).

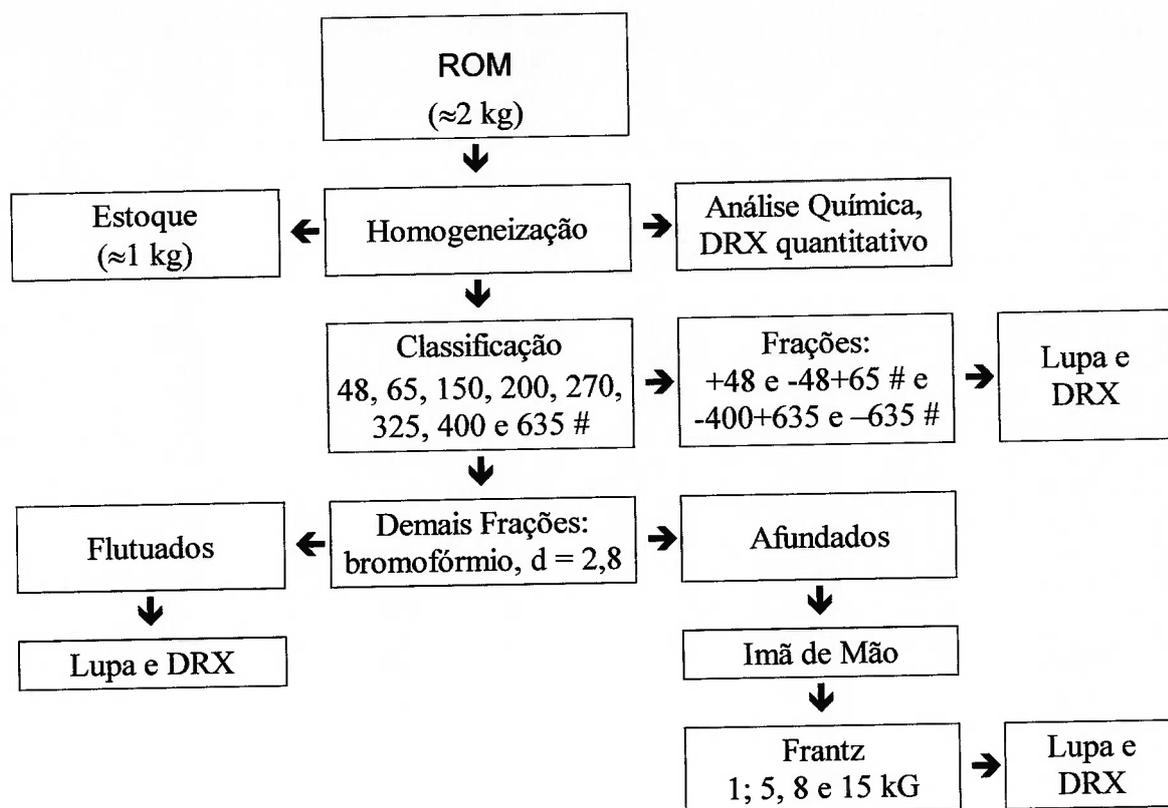


fig. 44 - Procedimento de caracterização dos finos da serraria

Uma amostra de 2 kg foi homogeneizada, quarteada, e utilizada na caracterização mineralógica. Em seguida, uma alíquota de 40 g foi enviada para análise química, visando a quantificação dos teores dos óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , MnO , TiO_2 , e Perda ao Fogo.

Os resultados obtidos da composição química do resíduo estão apresentados na tabela 7 :

TABELA 7 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PERDA AO FOGO DE
DUAS ANÁLISES DOS FINOS DA SERRARIA

ÓXIDOS e PF	Análise 1 (%)	Análise 2 (%)
SiO ₂	35,80	35,50
Al ₂ O ₃	6,92	8,22
Fe ₂ O ₃	5,97	6,63
TiO ₂	0,48	0,96
MgO	5,85	6,59
Na ₂ O*	1,23	3,15
K ₂ O	3,46	3,44
CaO	12,40	12,62
MnO		0,077
Perda ao Fogo	14,21	14,50

*O valor de Na₂O o encontrado na análise 2 é incompatível com os demais dados quantitativos deste relatório e não será mais considerado.

Para a determinação da distribuição granulométrica, o restante da amostra foi classificado em peneiras de 295, 208, 104, 74, 53, 44 e 20 µm, respectivamente 48, 65, 100, 150, 200, 270, 325, 400, 635 malhas (série Tyler). A distribuição granulométrica da amostra do resíduo está apresentada na tabela 8.

TABELA 8 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS FINOS DA SERRARIA

Malhas	Tamanho (mm)	Peso (%)	Peso Acumulado (%)	Peso Passante (%)
+48	+0,295	0,73	0,73	99,27
-48 +65	-0,295 +0,208	1,63	2,36	97,64
-65 +100	-0,208 +0,149	3,99	6,35	93,65
-100 +150	-0,149 +0,105	3,77	10,12	89,88
-150 +200	-0,105 +0,074	6,89	17,01	82,99
-200 +270	-0,074 +0,053	8,03	25,04	74,96
-270 +325	-0,053 +0,044	7,96	33,01	66,99
-325 +400	-0,044 +0,037	5,14	38,15	61,85
-400 +635	-0,037 +0,020	17,98	56,12	43,88
-635	-0,020	43,88		
Total		100,00		

Para a caracterização mineralógica, as frações +295 e -295+208 μm e -37 +20 e -20 μm foram analisadas em lupa binocular estereoscópica e também por difração de raios X (DRX). Para as identificações mineralógicas e, buscando concentrar fases minerais em frações mais específicas, as frações entre -208 +104 e -44 +37 μm foram separadas graviticamente em meio de densidade 2,8 (bromofórmio) e as partes afundadas separadas em campo magnético de imã de mão e, em separador isodinâmico Frantz, em campos magnéticos de 1, 5, 8 e 15 KG. As diferentes frações assim obtidas foram caracterizadas com uso de lupa binocular estereoscópica e, aquelas mais concentradas em minerais específicos, foram analisadas por difração de raios X (DRX).

A tabela 9 apresenta a distribuição obtida nos ensaios em meio denso e magnético nas frações granulométricas entre $-208+149$ e $-44 +37 \mu\text{m}$ da amostra do resíduo. As frações mais grosseiras que $208 \mu\text{m}$ não foram processadas devido à alta concentração de matéria orgânica, estimada em 10 e 5% em volume nas amostras $+295$ e $-295 + 208 \mu\text{m}$.

TABELA 9 – DISTRIBUIÇÃO OBTIDA COM OS ENSAIOS EM MEIO DENSO E ELETROMAGNÉTICO DO RESÍDUO DA SERRARIA

Fração (mm)	Flutuado Peso(%)	Afundado (% peso)						Total
		Ímã de mão	1KG	5KG	8KG	15KG	Não Magnético	
+0,149	26,37	35,72	20,78	6,92	0,61	0,69	8,92	73,63
+0,105	43,01	23,55	5,52	7,99	0,78	0,67	18,47	56,99
+0,074	48,44	15,63	4,13	7,37	0,90	0,57	22,97	51,56
+0,053	68,66	4,73	1,43	5,62	1,12	18,02	0,42	31,34
+0,044	65,58	1,83	1,99	3,25	2,32	0,76	24,28	34,42
+0,037	60,94	2,29	0,80	3,51	2,12	0,93	29,41	39,06

O equipamento de difração de raios X utilizado foi um Siemens /Brucker – AXS D5005, equipado com espelho de Goebel para feixe paralelo de raios X, mono cromador de grafite. A radiação utilizada foi $\text{Cu K}\alpha$ (40 KV/40mA), maiores detalhes do equipamento poderão ser obtidos nos anexos deste trabalho.

As análises por difração de raios X foram realizadas em frações obtidas nas separações por peneiramento, gravítica e magnética, previamente escolhidas em observações em lupa binocular estereoscópica. Quartzo, feldspato, e dolomita foram os minerais mais evidentes e biotita, muscovita, anfibólios, piroxênios, calcita e magnetita ocorrem de maneira mais restrita. A tabela 10 apresenta os resultados obtidos em frações do resíduo.

TABELA 10 – COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DETERMINADA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X EM FRAÇÕES EXTRAÍDAS DO RESÍDUO

Fração	Mineralogia
+100 #, flutuado	Quartzo, Anortita, Microclínio e Dolomita
+100 #, afundado (magnético com imã de mão)	Quartzo, Anortita, Microclínio, Biotita, Dolomita e Magnetita
+100 #, afundado (magnético com 1 KG)	Quartzo, Anortita, Microclínio, Biotita, Dolomita e Albita
+325 #, afundado (magnético com 5 KG)	Quartzo, Anortita, Microclínio, Biotita, Dolomita, Albita, Illita e Actinolita
+200 #, afundado (magnético com 5 KG)	Biotita, Dolomita, Albita, Actinolita, Fayalita
+270 #, afundado (magnético com 8 KG)	Dolomita, Albita, Actinolita, Muscovita, Fayalita, Anortita
+100 #, afundado (não magnético com 15 KG)	Quartzo, Anortita, Dolomita e Albita
-635 #, fração total	Quartzo, Feldspatos, Biotita, Dolomita, Anfibólio e Calcita

O espectro de difração de Raios X obtido na amostra total para cálculo de quantificação mineralógica caracterizou Biotita, Anfibólio (Hornblenda e/ou Actinolita), Quartzo, Dolomita, Microclínio, Albita e Anortita como os principais constituintes da

amostra. Como a quantificação por Rietveld foi realizada sem o uso de padrão interno de concentração conhecida, os resultados originais foram obtidos normalizados para 100%. A tabela 11 apresenta os dados normalizados e aqueles obtidos após correção utilizando o valor de Na_2O da tabela 7 (análise 2) como referente exclusivamente ao contido no plagioclásio sódico (Albita) da amostra.

TABELA 11 – QUANTIFICAÇÃO MINERALÓGICA E ORIGINAL E CORRIGIDA
PELO TEOR DE Na_2O OBTIDO POR DRX / Rietveld

Minerais	Rietveld	Rietveld Corrigido
Dolomita*	32	29
Quartzo	16	14
Albita	13	11
Anortita	16	15
Microclínio	23	21
Biotita	1	1
Anfibólio	<1	<1
Total	100	91

*Foi detectada presença marcante de Calcita na fração $-0,037\text{mm}$ representando 44% em peso da amostra, devendo ser considerada na quantificação mineralógica.

A amostra em questão apresenta mais de 60% de sua massa em granulometria inferior a $37\ \mu\text{m}$ (passante em peneira de 400 malhas), onde a mineralogia predominante determinada por DRX é feldspatos (albita, anortita e microclínio), quartzo, dolomita, calcita, biotita e anfibólio.

Nos ensaios efetuados em meio magnético realizados na frações de granulometrias entre 0,149 e 0,037mm, utilizando os dados das tabelas 8 e 9 caracteriza-se 4,03% da massa total da amostra como magnética em campo de aproximadamente 0,6 KG (imã de mão) formada por partículas contendo magnetita, mineral confirmado por DRX e limalhas de ferro. Analogamente caracterizou-se respectivamente 1,64; 1,98; 0,50 e 1,65% da massa total da amostra como magnética em campos de 1, 5, 8 e 15 KG. Este comportamento das partículas constituintes da amostra caracteriza a presença de ferro em diferentes estruturas minerais, além daquele relativo às limalhas de ferro, e explica a presença de 6% de Fe_2O_3 observado nas análises químicas das tabelas 7. Além do ferro contido na limalha de ferro e magnetita, entre os minerais predominantes na amostra, são portadores desse elemento, a Biotita, Anfibólio e eventualmente a Dolomita.

Considerando as observações efetuadas em lupa binocular, difração de Raios X e os teores dos óxidos constituintes da amostra obtidos nas análises químicas estima-se uma distribuição mineralógica de 45 a 50% de Feldspatos, 15% de Quartzo, 30% de Dolomita, 5% de Calcita, 1% de Filossilicatos (Biotita e Muscovita), 1 a 2% de Anfibólios e piroxênios, 1% de metálicos (Magnetita/ Hematita e Ilmenita, limalha de ferro/ Limonita) e menos de 1% de matéria orgânica.

4.2 - Separação Magnética de baixa e alta intensidade

4.2.1 – Separação magnética de baixa intensidade

Os resultados obtidos nos estudos de separação magnética de baixa intensidade, visando reduzir o teor de Fe na amostra estão apresentados em seguida.

Foi utilizado o tubo Davis (fig.45), para a separação dos minerais magnéticos constituintes do resíduo. Apesar do processo de separação magnética utilizado ser de baixa intensidade (via úmida), foram obtidos bons resultados, reduzindo o teor inicial de ferro da amostra, conforme mostrado na tabela 12.

Foram realizados cerca de 20 ensaios, os resultados mais promissores foram selecionados e estão na tabela 12. O campo magnético variou entre 1.550 a 3.800 G, e a corrente elétrica entre 2 a 6 A, respectivamente. A alimentação é realizada na parte superior do tubo. As condições utilizadas nesses ensaios estão apresentadas adiante.



fig. 45 – Separação magnética com tubo Davis

As condições usadas na realização dos ensaios foram:

teor de Fe inicial	3,2 %;
granulometria	-150 #;
voltagem	30 V;
corrente	2 A;
tempo do ensaio	20 min;
velocidade do motor	5 rpm
amostra	50 g.

A variação do campo magnético e o percentual de redução de Fe dos melhores resultados obtidos de separação magnética estão mostrados na tabela 12.

TABELA 12 – RESULTADOS DA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA BAIXA INTENSIDADE
USANDO FINOS GERADOS NOS TEARES DAS SERRARIAS

ENSAIO Nº	CAMPO MAGNÉTICO (GAUSS)	DISTRIBUIÇÃO MASSA (% Peso)		Fe (%)		% de redução de Fe
		Não Magnético	Magnético	Magnético	Não Magnético	
1	1550	96,63	3,37	43,3	1,6	50,0
2	1700	96,59	3,41	48,3	1,6	50,0
3	1800	96,45	3,55	46,5	1,6	50,0
4	2000	96,24	3,76	40,8	1,5	53,1
5	2100	95,88	4,12	15,8	1,4	56,3
6	2300	94,41	5,59	34,2	2,5	21,9
7	3200	94,50	5,50	51,9	2,5	21,9
8	3800	94,38	5,62	43,1	2,2	31,3

4.2.2 - Separação Magnética de alta intensidade

Foram realizados cerca de 15 ensaios de separação magnética de alta intensidade (via úmida), a partir da amostra de rejeitos ultra finos procedentes da serraria de beneficiamento da Marbrasa e gerados durante o processo de desdobramento dos blocos em chapas. Foi usado o separador magnético do tipo Boxmag Rapid (fig.46).



fig.46 – separador magnético Boxmag Rapid

As condições utilizadas nos ensaios estão apresentadas em seguida. Em seqüência, são mostrados na tabela 13 os melhores resultados obtidos nos respectivos ensaios. Vale ressaltar que houve variação do campo magnético entre 8.000 a 16.000 G e a corrente elétrica 4,5 a 12,5 A, respectivamente.

As condições usadas nos ensaios de separação magnética foram:

separador magnético:	Boxmag Rapid
matriz usada:	lã de aço
alimentação:	200 g de resíduo
sólidos na polpa:	10 %
granulometria:	-150 #;
Corrente:	4,5 a 12,5 A ;
tempo do ensaio:	15 min;
campo magnético:	8.000 a 16.000 G.

A variação do campo magnético e os melhores resultados obtidos nos ensaios de separação de alta intensidade (via úmida), estão mostrados na tabela 13.

TABELA 13 RESULTADOS DA SEPARAÇÃO MAGNÉTICA DE ALTA INTENSIDADE
USANDO FINOS GERADOS NOS TEARES DA SERRARIA

ENSAIO Nº	CAMPO MAGNÉTICO (GAUSS)	DISTRIBUIÇÃO MASSA (% Peso)		Fe (%)		% de redução de Fe
		Não Magnético	Magnético	inicial	Final	
1	8.000	75,83	24,17	3,2	1,2	62,5
2	10.000	68,34	31,66	3,2	0,77	75,94
3	12.000	67,89	32,11	3,2	1,4	56,25
4	14.000	67,88	32,12	3,2	1,1	65,62
5	16.000	67,54	32,46	3,2	0,67	79,06

4.2.3 - Separação Magnética com separador de tambor de baixa intensidade

Foram realizados ensaios de separação magnética de baixa intensidade (via úmida), usando desta vez o separador magnético de tambor (fig.39 da pág.87), e amostra de rejeito proveniente da serraria de beneficiamento. Estes ensaios foram executados em escala descontínua.

A polpa utilizada foi previamente preparada num tanque cilíndrico, localizado acima do separador magnético. Foi utilizando 10 kg de material e 30 l de água, constituindo assim uma polpa com 25% de sólidos. Esta polpa foi alimentada por gravidade e controlada a alimentação através de registros localizados nas tubulações. Quando a vazão da alimentação aumentava, o volume de polpa dentro da bacia do separador de tambor ultrapassava o nível regulador, ocorrendo perda de polpa. Assim sendo, procurou-se manter o volume de polpa na bacia de tal forma que não ultrapassasse o nível e se mantivesse constante.

As condições operacionais adotadas na separação magnética foram:

separador magnético:	tambor;
voltagem	80 V;
alimentação:	teor de Fe 10,3%
sólidos na polpa:	25 %;
Amostra :	10 kg;
corrente* :	1,5 A ;
tempo do ensaio:	20 a 25 min;
campo magnético* :	2.000 a 4.000 G.

Os resultados obtidos nos ensaios utilizando o separador de tambor estão mostrados na tabela 14

TABELA 14 – RESULTADOS OBTIDOS COM O SEPARADOR MAGNÉTICO DE TAMBOR DE BAIXA INTENSIDADE

PRODUTOS	Massa (g)	PESO (%)	Fe (%)	% de redução de Fe
magnético	4.477,0	52	-----	-----
não magnético	4.124,0	48	7,3	29,3
magnético	5.070,0	59,7	-----	-----
não magnético	3.421,0	40,3	7,0	32,0
magnético	5.255,0	55,9	-----	-----
não magnético	4.145,0	44,1	7,4	28,16

4.2.4 – Separação magnética com separador CF-5 de alta intensidade

Foram realizados ensaios de separação magnética de alta intensidade (via úmida), utilizando nesta etapa o separador magnético Carrossel de alta intensidade (fig.40 da pág.89), com o objetivo de remover os minerais magnéticos contaminante do resíduo. Esses ensaios foram executados em escala contínua.

A polpa utilizada foi previamente preparada num tanque cilíndrico, localizado acima do separador magnético. Foi utilizado 10 kg de material e 30 l de água (25% de sólidos). Esta polpa foi alimentada por gravidade e controlada a alimentação através de registros localizados nas tubulações.

As condições operacionais usadas nesses ensaios estão apresentadas em seguida:

separador magnético:	CF-5;
voltagem	115 e 120 V;
alimentação:	800 e 1000 g / min;
sólidos na polpa:	25 %;
granulometria:	-150 #;
corrente* :	2,0 e 8,0 A ;
tempo do ensaio:	10 e 12,5 min;
veloc. do carrossel	1,5 rpm;
injeção de água rinse	1,2 l / min;
tipo de grade	Standard;
capacidade de separação	250 kg / h;
teor de Fe na alimentação	4,9 %;
injeção de água spray	6 l / min;
campo magnético* :	6.000 a 9.000 G.

TABELA 15 – RESULTADOS OBTIDOS COM SEPARADOR CF-5 - ENSAIO 1

Produtos	Massa (g)	Peso(%)	Fe (%)	redução de Fe (%)
Alimentação	7.221,45	100	4,9	-----
Não magnético	4.865,00	67	3,2	34,69
magnético	1419,00	20	-----	-----
misto	937,45	13	-----	-----

TABELA 16 – RESULTADOS OBTIDOS COM SEPARADOR CF-5 - ENSAIO 2

Produtos	Massa (g)	Peso(%)	Fe (%)	redução de Fe (%)
Alimentação	8955,00	100,00	4,9	----
Não magnético	5345,00	59,70	3,6	26,53
magnético	1990,00	22,21	----	----
misto	1620,00	18,09	----	----

4.3 – Concentração gravítica com mesa Vibratória Denver e Mozley

Foram realizados ensaios com mesas concentradoras, visando reduzir o teor de ferro da amostra. Os estudos iniciais de concentração gravítica foram realizados com mesa vibratória Denver (fig. 41 da pág.90) e em seqüência foi usada a mesa Mozley (fig.42 da pág. 91).

As condições adotadas nos ensaios usando a mesa vibratória Denver, estão apresentadas a seguir e os resultados obtidos nesses ensaios estão mostrados nas tabelas 17.

As condições usadas nos ensaios de mesagem foram:

mesa vibratória	Denver tipo Deister
vazão de água	3,8 a 6,9 l / min.
vazão de polpa	3.300 a 3600 ml / min.
alimentação de sólido	200 a 500 g / min.
sólidos na polpa	10 a 15 %
tempo de amostragem	5 minutos;
teor de Fe na alimentação	4,9 %

TABELA 17 - RESULTADOS OBTIDOS COM A MESA VIBRATÓRIA DENVER

ENSAIO	PESO (%)	Fe (%)	Redução Fe(%)
Concentrado	88,4	2,0	59,18
Rejeito	1,2	30,5	-----
Misto	10,4	3,3	32,65
ENSAIO 2	PESO (%)	Fe (%)	-----
Concentrado	66,87	2,8	42,86
Rejeito	33,13	4,0	-----
ENSAIO 3	PESO (%)	Fe (%)	-----
Concentrado	79,26	2,7	44,9
Rejeito	20,74	3,3	-----
ENSAIO 4	PESO (%)	Fe (%)	-----
Concentrado	84,26	4,7	4,10
Rejeito	15,74	6,1	-----
ENSAIO 5	PESO (%)	Fe (%)	-----
Concentrado	70,62	4,8	2,10
Rejeito	29,38	10,8	-----
ENSAIO 6	PESO (%)	Fe (%)	-----
Concentrado	63,50	4,8	2,10
Rejeito	36,50	10,7	-----
ENSAIO 7	PESO (%)	Fe (%)	-----
Concentrado	69,66	5,0	1,0
Rejeito	30,34	7,2	-----
ENSAIO 8	PESO (%)	Fe (%)	-----
Concentrado	67,13	4,8	2,10
Rejeito	32,87	6,4	-----

Mesa Mozley

Foram realizados vários ensaios com a mesa Mozley, visando avaliar o desempenho deste equipamento na separação da gralha (- 150 #).

Os ensaios foram realizados em escala descontínua. As variáveis estudadas foram: inclinação da mesa, água de lavagem, água de irrigação, alimentação de sólido, amplitude (mm). Os parâmetros que se mantiveram constantes foram: frequência de oscilação (64 osc / min) e granulometria (- 150 #). Nos ensaios de concentração com a mesa Mozley, a alimentação inicial usada foi 50 g, nos ensaios

seguintes foi necessário variar esta alimentação até 1000 g, pois os produtos amostrados eram insuficientes para fazer as análises química (dosar Fe). O tempo de amostragem para cada produto foi de 1 min. Os resultados obtidos com a mesa Mozley no ensaio 1 estão apresentados na tabela 18 adiante.

As condições operacionais do ensaio 1 foram:

inclinação da mesa mozley 0°;

água de lavagem 1400 ml / min;

água de irrigação 400 ml / min.;

amplitude 120 mm;

freqüência 64 oscilações / min.;

alimentação de sólidos 150 g ;

teor de Fe na alimentação 4,9 %;

vazão de água 1800 ml / min.

TABELA 18 – RESULTADOS OBTIDOS COM A MESA MOZLEY - ENSAIO 1

Amostragem	Massa (g)	Peso (%)	Fe (%)	Redução de Fe (%)
Produto 1	68,22	46,87	3,6	26,53
Produto 2	35,26	24,22	3,3	32,65
Produto 3	16,23	11,15	5,9	----
Produto 4	9,03	6,20	4,2	14,29
Produto 5	16,82	11,56	6,6	----
TOTAL	145,56	100	-----	-----

Os resultados obtidos com a mesa mozley no ensaio 2 estão apresentados na tabela 19 adiante.

As condições operacionais do ensaio 2 foram:

inclinação da mesa mozley 9°;

água de lavagem 1360 ml / min;

água de irrigação 740 ml / min;

amplitude 120 mm;

freqüência 64 oscilações / min;

alimentação de sólidos 1000 g ;

teor de Fe na alimentação 4,9 %

vazão de água 2100 ml / min.

TABELA 19 – RESULTADOS OBTIDOS COM MESA MOZLEY – ENSAIO 2

Amostragem	Massa (g)	Peso (%)	Fe (%)	Redução de Fe (%)
Produto 1	807,16	82,44	4,0	18,37
Produto 2	120,07	12,26	4,4	10,20
Produto 3	27,78	2,84	4,7	4,10
Produto 4	12,05	1,23	8,1	-----
Produto 5	12,08	1,23	24,9	-----
TOTAL	979,14	100	-----	-----

Os resultados obtidos com a mesa mozley no ensaio 3 estão apresentados na tabela 20 adiante.

As condições operacionais do ensaio 3 foram:

inclinação da mesa mozley 0°;

água de lavagem 1400 ml / min;

água de irrigação 400 ml / min.;

amplitude 120 mm;

freqüência 64 oscilações / min.;

alimentação de sólidos 50 g ;

teor de Fe na alimentação 4,9 %

vazão de água 1800 ml / min.

TABELA 20 – RESULTADOS OBTIDOS COM MESA MOZLEY ENSAIO 3

Amostragem	Massa (g)	Peso (%)	Fe (%)	Redução de Fe (%)
alimentação	50	100	4,9	-----
Concentrado*	17,23	38,3	3,2	34,69
Rejeito ¹	27,80	61,7	6,8	-----

* Σ Produto1 + Produto2 + Produto3

¹ Σ Produto4 + Produto5

Os ensaios utilizando mesas concentradoras apresentaram resultados promissores. Partindo-se de uma amostra com teor de Fe de 4,9%, foram obtidos concentrados com teores de Fe de até 3,2%, utilizando-se nesta fase a mesa mozley.

Os resultados obtidos com a mesa mozley no ensaio 4 estão apresentados na tabela 21 adiante.

As condições operacionais do ensaio 4 foram:

inclinação da mesa mozley 3,5°;

água de lavagem 1220 ml / min;

água de irrigação 520 ml / min.;

amplitude 165 mm;

freqüência 64 oscilações / min.;

alimentação de sólidos 150 g ;

teor de Fe na alimentação 4,9 %

vazão de água 1740 ml / min.

Granulometria – 150 #

TABELA 21 – RESULTADOS OBTIDOS COM MESA MOZLEY – ENSAIO 4

Amostragem	Massa (g)	Peso (%)	Fe (%)	Redução de Fe (%)
alimentação	150,00	100,00	4,9	-----
Concentrado*	138,63	92,42	3,4	30,61
Rejeito ¹	8,87	5,91	-----	-----

* Σ Produto1 + Produto2 + Produto3

¹ Σ Produto4 + Produto5

4.4 – Estudos com ciclone

Os ensaios preliminares de beneficiamento utilizando o ciclone, visando a redução do teor de Fe na amostra, apresentaram resultados promissores. Partindo-se de uma amostra com teor de Fe de 4,9%, foram obtidos concentrados com teor de Fe de 3,5%. Em decorrência disto, verificou-se que ocorreu uma redução apreciável do Fe contido na amostra. Pela condução dos ensaios pode-se observar que melhores resultados poderão ser alcançados mostrando que esta rota é promissora em termos de redução do teor do Fe.

Durante a operação com o ciclone de fundo chato, forma-se um leito de polpa em sua base inferior. A formação deste leito é causada pela própria configuração do fundo do ciclone. A profundidade do leito formado pode ser controlado pela abertura do ápice (saída do underflow). Desta forma, o corte do ciclone pode ser afetado por essa abertura.

Os ciclones são amplamente utilizados nas serrarias, para controle da viscosidade da lama e por ser uma rota economicamente viável, já que os custos de investimento e operacional são reduzidos. Além disto, torna-se muito interessante devido as facilidades de operação que os funcionários obtiveram com estes equipamentos.

As condições operacionais adotadas nos ensaios de ciclonagem foram:

- Sólidos na polpa: 25% (10 kg e 30 l);
- tempo de amostragem no underflow e overflow simultâneamente: 1 min;
- pressão da alimentação na amostragem: 4 lb / pol² ;

Os melhores resultados obtidos com os ensaios preliminares de ciclonagem estão apresentados em seqüência nas tabelas 22 e 23.

TABELA 22 – RESULTADOS OBTIDOS COM CICLONE – ENSAIO 1

Óxidos	Underflow	Overflow	Redução de Fe (%)
SiO ₂	40,80	48,70	---
Al ₂ O ₃	10,30	10,50	---
Fe ₂ O ₃	7,10	5,02	---
Fe	4,96	3,51	28,37
K ₂ O	3,70	4,50	---
MgO	8,20	5,60	---
P ₂ O ₅	0,33	0,25	---
CaO	14,20	12,80	---
Na ₂ O	2,10	2,50	---
TiO ₂	-----	0,46	---

TABELA 23 – RESULTADOS OBTIDOS COM CICLONE – ENSAIO 2

Óxidos	Underflow	Overflow	Redução de Fe (%)
SiO ₂	42,60	49,00	---
Al ₂ O ₃	10,40	10,40	---
Fe ₂ O ₃	6,46	5,01	---
Fe	4,51	3,50	28,57
K ₂ O	3,20	4,20	---
MgO	7,40	6,10	---
P ₂ O ₅	0,27	0,26	---
CaO	13,90	14,10	---
Na ₂ O	1,90	2,30	---
TiO ₂	-----	0,47	---

5 – Estudos da Aplicação do Resíduo na Construção Civil e Indústria Cerâmica

5.1. – Avaliação do uso do resíduo na produção de argamassas de assentamento e revestimento

Os estudos visando o aproveitamento do resíduo para a produção de argamassas de assentamento e revestimento foram desenvolvidos no laboratório de materiais “Prof. Mauro Ribeiro Viegas” da Faculdade de Arquitetura da UFRJ (fig. 47).

Foram inicialmente realizados 4 ensaios para determinação do índice de consistência de uma argamassa padrão de marca Qualimassa, oferecida no mercado consumidor. Dois ensaios foram preparados manualmente, tanto o amassamento, quanto o adensamento desse material, visando moldar e elaborar os corpos de prova, e nos outros dois ensaios o amassamento foi feito na argamassadeira (fig 48), e o adensamento preparado manualmente com ferramenta adequada, colocando uma camada de argamassa dentro do molde para produzir os corpos de prova com formato de tronco de cone, e aplicando-se 15 golpes com uma ferramenta indicada para fazer o primeiro adensamento da mistura dentro do molde. Logo após, coloca-se uma segunda camada de argamassa e aplica-se desta vez somente 10 golpes, com o mesmo instrumento. A terceira e última camada é colocada até o preenchimento total do molde, e aplica-se nesta etapa apenas 5 golpes. Após a formação do corpo de prova tronco cônico, a superfície final deste deve apresentar-se plana.

Foram utilizados na preparação da argamassa padrão cerca de 1 kg de Qualimassa e 140 ml de água, conforme instruções do fabricante no rótulo.

Os ensaios para a determinação da consistência foram executados com argamassa no estado plástico (frescas). Existem vários métodos propostos para

avaliação do índice de consistência (I_c). O método mais usado e amplamente adotado está regulamentado pela norma da ABNT (NBR 7215 de 1991).

A consistência da argamassa é definida como a medida do espalhamento (diâmetros) de uma porção de argamassa inicialmente moldada em forma de tronco de cone sobre uma mesa de ensaio (fig 49). A argamassa moldada é forçada a deformar-se mediante quedas padronizadas dessa mesa (30 golpes em 30 Seg.) e são medidos os dois diâmetros ortogonais na base do tronco de cone de argamassa deformada, após essa deformação, é feita a média aritmética dessas medidas, e determinado assim o chamado índice de consistência (I_c), expresso em milímetros.

A plasticidade, ou seja, a resistência à deformação da argamassa fresca pode ser determinada através do trabalho (ou energia) necessária para deformar uma amostra de tamanho definido, como o proposto no método de RILEM (MR-13, de 1982)*.

Neste processo, um molde plástico quadrado é preenchido com a argamassa e, então, o conjunto é forçado a deformar-se diagonalmente a uma velocidade constante de 40 mm / s. Simultaneamente, são registradas a força aplicada (através de um dinamômetro) e a deformação produzida – mudança de comprimento da diagonal do quadrado – (através de um transdutor). O ensaio é interrompido quando a força atinge 25 N ou a deformação atinge 40 mm.

* Réunion internationale des Laboratoires D'essais et matériaux. RILEM.

Recommendations MR1 21: testing methods of mortars and rendering, Paris, France. RILEM, 1982.

Equipamento denominado Wuerpel modificado (MR-13 da RILEM, 1982)



fig. 47 – Laboratório de materiais da Faculdade de Arquitetura da UFRJ



fig. 48 – Argamassadeira usada na preparação da massa

Segundo Schimmelwitz, o método para avaliar a consistência é conhecido como *flow table test*, é prescrito por várias normas estrangeiras, dentre as quais: ASTM C 109, BS 4551, DIN 18555 parte 2, DIN 1060 e MR – RILEM, existindo pequenas diferenças nas dimensões do tronco de cone e nas freqüências das quedas da mesa. A consistência é expressa como a porcentagem do espalhamento final em relação ao diâmetro inicial do tronco de cone (fig. 49).



Fig. 49 – Mesa e molde para determinação da consistência de argamassas

Para a determinação da resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa, foi empregado o método normalizado pela ABNT para cimento, Determinação de resistência à compressão – NBR – 7215/91.

Foram utilizados neste método os quatro corpos de prova cilíndricos elaborados a partir da argamassa padrão Qualimassa, com cerca de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, sendo aplicados esforços de compressão axial até a

ruptura dos corpos de prova (fig. 50). Antes do rompimento dos corpos de prova, eles foram colocados por 28 dias em cura (fig.51). Após a determinação da consistência da Qualimassa padrão, e da resistência à compressão dos corpos de prova produzidos com ela, foram produzidos novos corpos de prova, sendo que desta vez foi incorporado aos novos corpos de prova cerca de 10% do resíduo proveniente das serrarias. Com este procedimento iniciou-se o estudo do aproveitamento do resíduo na produção de argamassas para assentamentos de tijolos e revestimentos (emboco).

Este estudo teve a duração de 2 meses, foram realizados ensaios para determinação da consistência da argamassa com 10% de resíduo, utilizou-se nesta fase a argamassadeira (fig 48) e a mesa vibratória (fig 52) para fazer o amassamento e adensamento, respectivamente. Em virtude disso, foram realizados também testes de resistência à compressão, de acordo com o procedimento já descrito anteriormente.



fig. 50 – Equipamento para rompimento dos corpos de prova



fig 51 – Corpos de prova colocados por 28 dias em cura



fig 52 – Mesa vibratória para adensamento de argamassas

Foram realizados 4 ensaios, visando determinar o índice de consistência, em cada ensaio foram preparados 4 corpos de prova. Dois corpos de prova foram preparados manualmente, tanto o amassamento quanto o adensamento da argamassa, e nos outros dois ensaios foram preparados o amassamento na argamassadeira (fig 48), e o adensamento preparado na mesa vibratória (fig 52).

Os resultados obtidos nesses estudos estão apresentados nas tabelas 24 a 28.

TABELA 24 – RESULTADOS DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Índice de consistência – I _c (mm)						
Ensaio n°	Argamassa Padrão	Observação		Argamassa com 10% de resíduo	Observação	
		Amassamento	adensamento		Amas.	Adens.
01	245+231/2=238	manual	manual	197+192/2=194,5	manual	manual
02	232+227/2=229,5	manual	manual	189+193/2=191	manual	manual
03	254+253/2=253,5	argamassadeira	manual	208+204/2=206	Argamas sadeira	vibração
04	261+249/2=255	argamassadeira	manual	200+197=198,5	Argamas sadeira	vibração

TABELA 25 – RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

RESISTENCIA A COMPRESSÃO				
Ensaio n° 01				
CP	QUALIMASSA (argamassa padrão)		QUALIMASSA + 10% DE RESIDUO	
	Força de ruptura (kgf)	Resistência a compressão (Mpa)	Força de ruptura (kgf)	Resistência a compressão (Mpa)
01	650	3,31	990	5,04
02	700	3,56	950	4,84
03	650	3,31	850	4,33
04	650	3,31	950	4,84

RC=3,37Mpa DR _{Max} =5,64% < 6%	RC=4,76Mpa DR _{Max} =5,88% < 6%
---	---

TABELA 26 – RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

RESISTENCIA A COMPRESSÃO				
Ensaio n° 02				
CP	QUALIMASSA (argamassa padrão)		QUALIMASSA + 10% DE RESIDUO	
	Força de ruptura (kgf)	Resistência a compressão (Mpa)	Força de ruptura (kgf)	Resistência a compressão (Mpa)
01	700	3,56	990	4,58
02	700	3,56	900	4,58
03	730	3,72	900	4,58
04	660	3,36	960	4,89

RC=3,55Mpa
DR_{Max}=4,79% < 6%

RC=4,66Mpa
DR_{Max}=4,93% < 6%

TABELA 27 – RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

RESISTENCIA A COMPRESSÃO				
Ensaio n° 03				
CP	QUALIMASSA (argamassa padrão)		QUALIMASSA + 10% DE RESIDUO	
	Força de ruptura (kgf)	Resistência a compressão (Mpa)	Força de ruptura (kgf)	Resistência a compressão (Mpa)
01	700	3,56	900	4,58
02	700	3,56	900	4,58
03	760	3,87	950	4,84
04	720	3,67	970	4,94

RC=3,66Mpa
DR_{Max}= 5,73% < 6%

RC=4,73Mpa
DR_{Max}=4,33% < 6%

TABELA 28 – RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

RESISTENCIA A COMPRESSÃO				
Ensaio n° 04				
CP	QUALIMASSA (argamassa padrão)		QUALIMASSA + 10% DE RESIDUO	
	Força de ruptura (kgf)	Resistência a compressão (Mpa)	Força de ruptura (kgf)	Resistência a compressão (Mpa)
01	760	3,87	900	4,58
02	450	X	900	4,58
03	750	3,82	850	4,33
04	700	3,56	450	X

RC=3,75Mpa
DR_{Max}=5,06% < 6%

RC=4,50Mpa
DR_{Max}=3,77% < 6%

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ESTUDOS REALIZADOS PARA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO PARA ARGAMASSAS

Os estudos realizados no laboratório de materiais da Faculdade de Arquitetura da UFRJ, voltados para aproveitamento do resíduo na produção de argamassas de assentamento e argamassas de revestimento (emboco), sinalizaram para um aumento de resistência à compressão da argamassa com a utilização do resíduo, no estado endurecido e uma pequena diminuição na plasticidade no estado fresco. Esse aumento da resistência à compressão foi observado quando usada a mesma quantidade de água e retirado cerca de 10% de Qualimassa, e adicionado em seu lugar 10% do resíduo em estado sólido. Em decorrência da diminuição da plasticidade no estado fresco, quando usada a mesma quantidade de água, com acréscimo de resíduo sólido (10%), em relação a Qualimassa, seria recomendável novos ensaios para avaliação da trabalhabilidade da argamassa no estado fresco e comprovar a vantagem da adição do resíduo já constatada nesses ensaios iniciais, isto é, facilidade ou não dá aplicação do resíduo. Assim sendo, seria interessante construir uma parede para aplicação da argamassa produzida (emboco) com acréscimo de 10% de resíduo. Comprovando na prática os resultados favoráveis obtidos nos ensaios experimentais.

5.2 - Avaliação da utilização do resíduo na indústria de cerâmica vermelha

No período de 18/10 a 19/11/2000 foram desenvolvidos estudos de laboratório para avaliar a possibilidade de aproveitamento dos resíduos gerados nos teares das serrarias de Cachoeiro de Itapemirim /ES. Esta fase do projeto foi financiada pelo Programa de Capacitação Institucional – PCI do CNPq.

Os estudos foram realizados na Divisão de Tecnologia Mineral – Ditem, da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial da Secretaria da Ciência e Tecnologia do Governo do estado do Ceará – NUTEC, e teve a duração de 31 dias. A pesquisa foi desenvolvida de acordo com o programa planejado. Foram realizados estudos com amostras de resíduos provenientes da serraria de mármore e granitos da região de Cachoeiro de Itapemirim / Espírito Santo, pertencente à empresa Marbrasa.

O objetivo da viagem a Fortaleza foi inicialmente fazer a caracterização das amostras do resíduo, e em seguida estudar rotas para aproveitamento desse material na indústria da construção civil e indústria cerâmica, visando minimizar o impacto ambiental, e os conflitos com a comunidade regional. Em virtude disto, foram encaminhados à Fortaleza cerca de 40 kg de material, sendo cerca de 10 Kg de amostra beneficiada no CETEM com teor de Fe 0,7%, 10 kg de amostra beneficiada com teor de Fe de 3,2%, e 20 kg de amostra não beneficiada (teor de Fe 11,84%), visando estudar utilizações mais nobres desses resíduos que possibilitassem agregação de valores e aplicações industriais.

Foram inicialmente desenvolvidos ensaios para aproveitamento do resíduo na indústria de cerâmica vermelha, visando a produção de tijolos maciços, tijolos vazados, telhas, lajotas etc. Na construção civil os estudos foram dirigidos para a

produção de blocos estruturais. Estes ensaios são regulamentados pelas normas brasileiras da ABNT.

- retração;
- módulo de ruptura;
- granulometria;
- absorção de água.

A matéria-prima utilizada na cerâmica vermelha poderá conter Fe desde que seja misturada à argila aglomerante em pequenas proporções, porque o material que contém Fe queima vermelho. Os ensaios para cerâmica vermelha foram realizados no laboratório de processos cerâmicos da Divisão de Tecnologia Mineral - Ditem / Nutec.

Inicialmente foi utilizada uma argila gorda* (aglomerante) como ligante. A argila foi moída até passar numa peneira de 20 #.

A argila utilizada como aglomerante do resíduo foi proveniente da Cerâmica Cascavel S.A, localizada na região metropolitana de Fortaleza e foi moída num moinho de bolas de porcelana, sendo a mesma colocada a uma granulometria abaixo de 20 #. A carga usada no moinho está apresentada abaixo:

10 bolas de 2" de porcelana;

12 bolas de 1" de porcelana;

17 bolas de 1/2" de aço.

* argila gorda : barro forte, muito liguento, possui pouca areia

argila magra (poagem): barro fraco, tem muita areia.

Na primeira etapa, após a moagem, 60% da argila passou na peneira de 20 #, o restante da amostra foi remoída. Após a moagem da argila foram pesadas 1.080 g de argila e 120 g do resíduo (10%). Total de 1200 g (resíduo mais argila).

Ensaio 1

Preparou-se uma mistura com 90% de argila e 10% do resíduo contendo Fe, e em seguida, o material foi molhado com cerca de 15% de água e peneirado usando peneira de 2,83 mm ou 7 #. Em seqüência, a amostra foi colocada num molde e prensada com uma força de 2,5 toneladas na prensa mostrada na fig. 53. A partir da mistura com a amostra não beneficiada (teor de 11,8 % de Fe) foram elaborados 12 corpos de prova, conforme mostrados na fig.54 e especificados a seguir:

S1 ----10% de resíduo: 4 corpos de prova ----secados a 70° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 900° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 1.100° C

Ensaio 2

Na preparação da mistura, argila mais resíduo foi usado desta vez 80% de argila correspondente a 960 g, e apenas 20% de resíduo (com Fe), ou seja, 240 g foi incorporado à massa argilosa. A seguir foi adicionado cerca de 15% de água à mistura, e o material foi usado para elaborar os corpos de prova na prensa, sendo aplicada uma força de 2,5 toneladas. Foram produzidos 12 corpos de prova, sendo que 4 deles foram secados (70°C) na estufa, os restantes foram queimados 4 à 900° e 4 a 1.100° C.

S2 ----20% de resíduo: 4 corpos de prova ----secados a 70° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 900° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 1.100° C

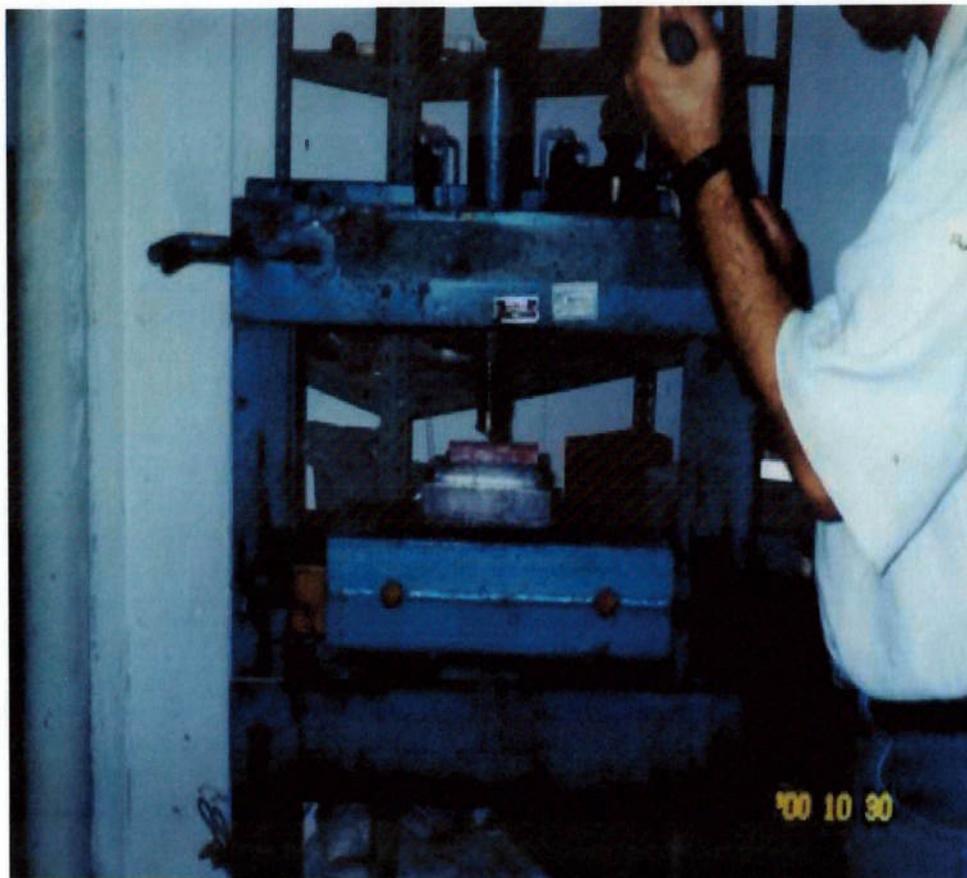


fig 53 – Prensa usada na elaboração de corpos de prova para estudo de queima e medição da resistência à flexão



fig 54 – Corpos de prova para queima e determinação da resistência à flexão

Ensaio 3

Na preparação da mistura, argila mais o resíduo foi utilizado desta vez 70% de argila correspondente a 840 g e 30% de resíduo (com Fe), ou seja, 360 g da amostra, o material foi homogeneizado, molhado com cerca de 15% de água e antes peneirado usando peneira de 2,83 mm ou 7 #. Após a incorporação de 30% do resíduo na mistura, o material foi colocado num molde e aplicado um esforço de compressão de

2,5 toneladas na prensa e foram elaborados 12 corpos de prova, com a amostra não beneficiada (teor de 11,84 % de Fe). Em seguida os corpos de prova foram colocados na temperatura ambiente para secar por 24 h, para aumentar a resistência mecânica. No dia seguinte 4 corpos de prova foram secados na estufa a 70° C, e os restantes foram queimados 4 a 900° e 4 a 1.100°C, para avaliação da retração, cor de queima e resistência à flexão (módulo de ruptura). conforme especificado adiante.

Foram produzidos um total de 36 corpos de prova nesta primeira fase, usando a amostra do resíduo magnético, ou seja, com Fe.

S3 ----30% de resíduo: 4 corpos de prova ----secados a 70° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 900° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 1.100° C

ENSAIOS COM AMOSTRA PURIFICADA

Foram produzidos 36 corpos de prova com a amostra beneficiada no Cetem (não magnética) com teor de Fe de 0,7%, 12 corpos de prova com 10% de resíduo incorporado à argila, outros 12 com 20% de resíduo e mais 12 corpos de prova com 30% de resíduo, conforme especificado abaixo. Esses corpos de prova depois de prontos foram colocados na bancada do laboratório de processos cerâmicos para secagem natural por 24 h, visando aumento da resistência mecânica. Em seqüência, foi realizada a queima em forno com temperaturas de 900° e 1100°C e secagem na estufa a 70°C. Foram avaliados: retração, módulo de ruptura e absorção de água. Os corpos foram rompidos no aparelho de ruptura à flexão (fig.55 e 56) do depto de engenharia civil da UFC. Os resultados obtidos estão apresentados adiante.

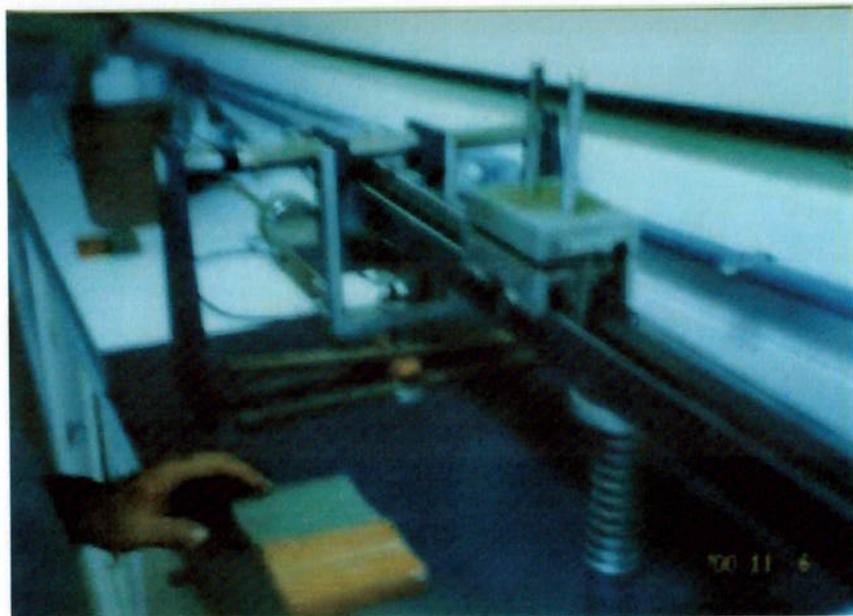


fig. 55 – Aparelho para medir a resistência à flexão



fig.56 – Corpo de prova para ser rompido, início da medição da resistência à flexão

N1 ----10% de resíduo: 4 corpos de prova ----secados a 70° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 900° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 1100° C

N2 ----20% de resíduo: 4 corpos de prova ----secados a 70° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 900° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 1100° C

N3 ----30% de resíduo: 4 corpos de prova ----secados a 70° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 900° C

: 4 corpos de prova ----queimados a 1.100° C

Resultados da Caracterização da Argila da Cerâmica Cascavel S.A

Os resultados obtidos com a caracterização da argila cascavel utilizada como ligante com o resíduo, estão mostrados nas tabelas 29, 30, 31, e 32.

Foram determinados módulos de ruptura, retração, e absorção de água para a referida argila nas temperatura de 900 e 1100°C, e módulo de ruptura, retração de secagem para a amostra seca a 70°C. Foi realizada análise granulometrica, da argila, cascavel, visando determinar a distribuição granulometrica, utilizou-se nesta etapa as peneiras de 65, 100, 200, e 325 #.

As tabelas de 33 a 37 mostram os resultados obtidos com a amostra beneficiada no Cetem, e as tabelas 38 a 41, os resultados com a amostra não beneficiada. A tabela 42 indica os valores limites recomendados com relação ao módulo de ruptura e absorção de água, para se trabalhar com tijolos, telhas e ladrilhos.

TABELA 29 - AMOSTRA SECA A 70°C

ENSAIOS	Argila
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	24,26
Retração de secagem (%)	2,65

TABELA 30 – QUEIMA A 900°C

ENSAIOS	Argila
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	139,24
Retração de secagem (%)	3,99
Absorção de água (%)	8,86

TABELA 31 – QUEIMA A 1100°C

ENSAIOS	Argila
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	272,49
Retração de secagem (%)	8,97
Absorção de água (%)	1,26

TABELA 32 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Peneira #	Malha (mm)	Peso Retido (%)	Peso (%)	Acumulada (%)
65	0,210	10,2	3,4	3,4
100	0,149	4,5	1,5	4,9
200	0,074	14,7	4,9	9,8
325	0,044	16,2	5,4	15,2
<325			84,8	100

AMOSTRA BENEFICIADA NO CETEM

TABELA 33 – AMOSTRA SECA A 70°C

ENSAIOS	Resíduo 10%	Resíduo 20%	Resíduo 30%
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	61,48	51,39	40,48
Retração de secagem (%)	2,44	2,03	1,39

TABELA 34 – QUEIMA A 900°C

ENSAIOS	Resíduo 10%	Resíduo 20%	Resíduo 30%
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	109,50	92,93	61,47
Retração de secagem (%)	3,12	3,0	1,95
Absorção de água (%)	10,13	10,33	12,2

TABELA 35 – QUEIMA A 1100°C

ENSAIOS	Resíduo 10%	Resíduo 20%	Resíduo 30%
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	303,34	317,54	361,43
Retração de secagem (%)	9,20	8,72	8,61
Absorção de água (%)	0,32	0,30	0,19

TABELA 36 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AMOSTRA BENEFICIADA

Peneira #	Malha (mm)	Peso Retido (%)	Peso (%)	Acumulada (%)
48	0,297	0,067	0,067	99,933
65	0,210	0,17	0,237	99,763
100	0,149	0,60	0,837	99,163
200	0,074	4,40	5,237	94,763
325	0,044	14,33	18,73	81,27
<325		81,27	100,0	

TABELA 37 – ANÁLISES QUÍMICA

DETERMINAÇÕES (%)	Beneficiada	Não Beneficiada
SiO ₂	49,09	41,56
CaO	8,29	7,84
MgO	3,57	3,15
Óxidos Combinados (R ₂ O ₃)	24,58	33,63
Perda ao Fogo	1,52	0,74
Fe ₂ O ₃	5,80	16,93
Fe	5,06	11,84
Al ₂ O ₃	11,95	12,17
K ₂ O	0,86	5,45
Na ₂ O	5,58	1,61

AMOSTRA NÃO BENEFICIADA

TABELA 38 – AMOSTRA SECA A 70°C

ENSAIOS	Resíduo 10%	Resíduo 20%	Resíduo 30%
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	59,06	45,78	39,61
Retração de secagem (%)	1,99	1,39	1,04

TABELA 39 - QUEIMA A 900°C

ENSAIOS	Resíduo 10%	Resíduo 20%	Resíduo 30%
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	78,23	57,97	48,65
Retração de secagem (%)	2,95	2,04	1,73
Absorção de água (%)	9,27	10,09	10,37

TABELA 40 - QUEIMA A 1100°C

ENSAIOS	Resíduo 10%	Resíduo 20%	Resíduo 30%
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	225,34	209,29	193,16
Retração de secagem (%)	7,89	7,35	7,02
Absorção de água (%)	1,45	1,21	1,11

TABELA 41 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AMOSTRA NÃO BENEFICIADA

Peneira #	Malha (mm)	Peso Retido (%)	Peso (%)	Acumulada (%)
48	0,297	5,30	5,30	94,70
65	0,210	2,57	7,87	92,13
100	0,149	4,40	12,27	87,73
200	0,074	13,63	25,90	74,10
325	0,044	15,20	41,10	58,90
<325		58,90	100,0	

TABELA 42 - VALORES LIMITES RECOMENDADOS

ENSAIO	TIJOLO DE ALVENARIA	TIJOLO FURADO	TELHA	LADRILHO
Módulo de ruptura a cru (min) kgf / cm ²	15	25	30	XXXX
Módulo de ruptura após Queima (min) kgf / cm ²	20	55	65	XXXX
Absorção de água (%) máx	XXXX	25	20	<1

Esses valores de módulo de ruptura a cru (mínimo), após queima e absorção de água são os recomendados para se trabalhar com tijolo de alvenaria, tijolo furado, telha e ladrilho.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM O ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO NA CERÂMICA VERMELHA.

Ensaio antes da queima:

O resíduo de serragem age reduzindo a resistência mecânica a cru. Isto aconteceu tanto na amostra beneficiada quanto na não beneficiada. A redução aumenta a medida que aumenta o teor do pó. O fato se deve provavelmente a menor plasticidade do pó, devido a sua granulometria mais grosseira que a da argila de teste. Apesar disto, para o caso da argila em questão, não houve comprometimento no valor mínimo exigido de 30 kgf/cm². Isto significa que o pó pode ser usado com sucesso se analisarmos o aspecto da resistência mecânica a cru. Observamos que esta propriedade é importante para cerâmica vermelha porque as peças de tijolo ou telha tem que ser intensivamente manuseadas para as etapas seguintes de secagem e de queima. Se a resistência não for suficiente a peça quebrará com facilidade durante estas operações.

As diferenças dos valores absolutos de resistência mecânica a cru da amostra do pó beneficiada e não beneficiada não são significativas. Concluímos que a resistência a cru não é sensível ao tipo de pó (beneficiado ou não).

A retração de secagem também diminuiu com o uso do pó comprovando que as peças realmente ficaram com distribuição granulométrica mais grosseira.

Ensaio após queima:**900 °C**

O pó também age reduzindo a resistência mecânica após queima (900). No caso do pó beneficiado isto já era esperado. Já que o material está mais grosseiro, era de se esperar que também sinterizasse menos, daí a menor resistência mecânica.

No pó não beneficiado esperávamos que a presença de resíduo de granalha de ferro no pó contribuísse para o abaixamento do ponto de sinterização do material. Isto não aconteceu como se pode ver pela absorção de água que aumentou com o aumento do teor do pó não beneficiado.

A ação do pó não beneficiado foi prejudicial na queima a 900 °C nas proporções de 20 e 30%, pois fez com que o corpo de prova não atingisse os 65 Kgf/cm² mínimos exigidos para produção de telha.

Concluimos pelos valores absolutos das resistências mecânicas que a granulometria mais fina do pó beneficiado contribuiu mais para sinterização a 900 que a presença do ferro na amostra não beneficiada.

A retração após a queima está dentro dos padrões para este tipo de argila. Sua leve diminuição com o aumento da concentração do pó também se deve ao aumento de granulometria do material.

1100 °C

A queima a 1100 °C confirma os pontos básicos que começamos a analisar na queima a 900:

1. A resistência mecânica diminui com o aumento do teor do pó não beneficiado. A resistência mecânica aumenta com o aumento do teor do pó beneficiado. Concluímos portanto que a granulometria mais fina do pó beneficiado também contribuiu bem mais para sinterização a 1100 °C que a presença do ferro na amostra não beneficiada.
2. Os valores absolutos menores da resistência mecânica do pó não beneficiado indicam que o pó é prejudicial à resistência mecânica da peça. Neste caso todos os valores mínimos de resistência mecânica foram atingidos.
3. Apesar de passar nos testes de resistência mecânica as peças que usaram pó não beneficiado apresentaram erupções do tipo coração negro por toda a sua superfície inviabilizando a sua utilização como aditivo nas formulações de cerâmica vermelha.
4. O valor absoluto da resistência mecânica dos corpos de prova com o pó beneficiado são crescentes o que indica que o pó beneficiado tem efeitos positivos para resistência mecânica a 1100°C
5. A retração após queima e absorção d'água estão dentro dos valores compatíveis para este tipo de material. As diferenças entre os seus valores absolutos, dentro de cada amostra (não beneficiada e beneficiada) não são significativas.

COMENTÁRIOS SOBRE OS ESTUDOS DE CERÂMICA VERMELHA

1. O pó beneficiado pode ser utilizado em até 30% nas formulações de massa para cerâmica vermelha.
2. Devido a sua granulometria o pó beneficiado pode substituir com vantagens a argila grosseira que os ceramistas normalmente misturam com sua argila mais fina para diminuir a plasticidade.
3. O pó não beneficiado traz problemas para obtenção da resistência mecânica mínima a 900 °C nas proporções de 20 e 30 %.
4. Apesar do pó não beneficiado atender aos requisitos a 1100 °C ele apresenta defeitos superficiais e internos do tipo coração negro que inviabilizam o seu uso em formulações de peças de cerâmica vermelha.

5.3 – Avaliação da utilização do resíduo na produção de bloco estrutural e piso para pavimentação

Foram desenvolvidos estudos de utilização da amostra para produção de blocos estruturais. Esses ensaios foram realizados numa das principais empresas de construção civil do Ceará, denominada de JOTADOIS, e localizada na região metropolitana de Fortaleza.

A unidade industrial onde foram produzidos os blocos estruturais está situada próximo a Caucaia, na Br -222, Km 17, denominada de Genipabu Industrial Ltda., pertencente ao Grupo JOTADOIS (fig.57), onde funciona a fábrica de pré-moldados.

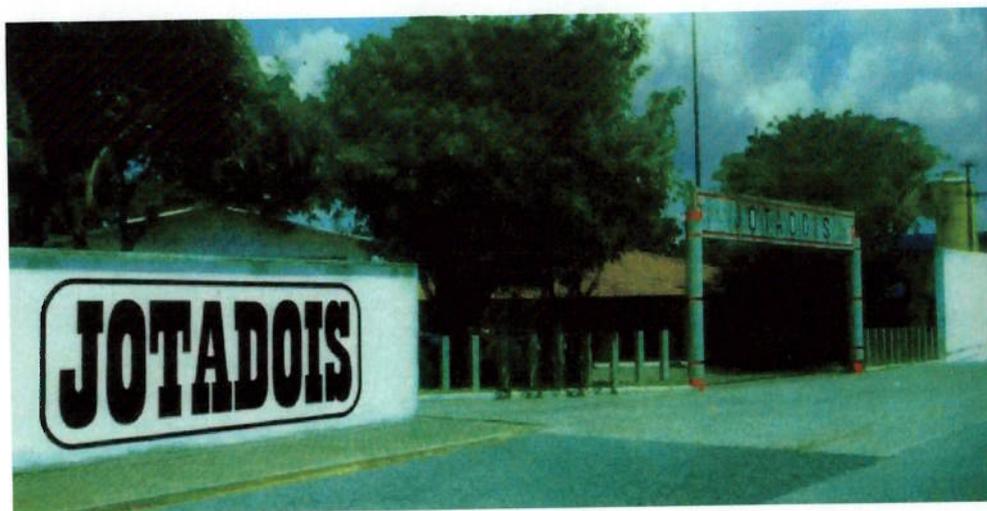


fig. 57 – Unidade Industrial do Grupo Jotadois-Fábrica de pré-moldados

Foram utilizados 10 kg de resíduo sem purificação (teor de Fe 11,84%), visando a produção de blocos estruturais e pisos para pavimentação de áreas

externas. Esse material foi misturado com cimento, areia, brita fina e água, e em seqüência, prensado na máquina de pré-moldados da JOTADOIS (fig. 58).

Os blocos estruturais ficaram expostos ao tempo por 24 h, para secagem natural (figs. 59 e 60) e com isto obter resistência mecânica. Após então esses foram transportados para a Divisão de Tecnologia de Construção Civil do NUTEC, visando a realização dos ensaios de rompimento e determinação da resistência à compressão.

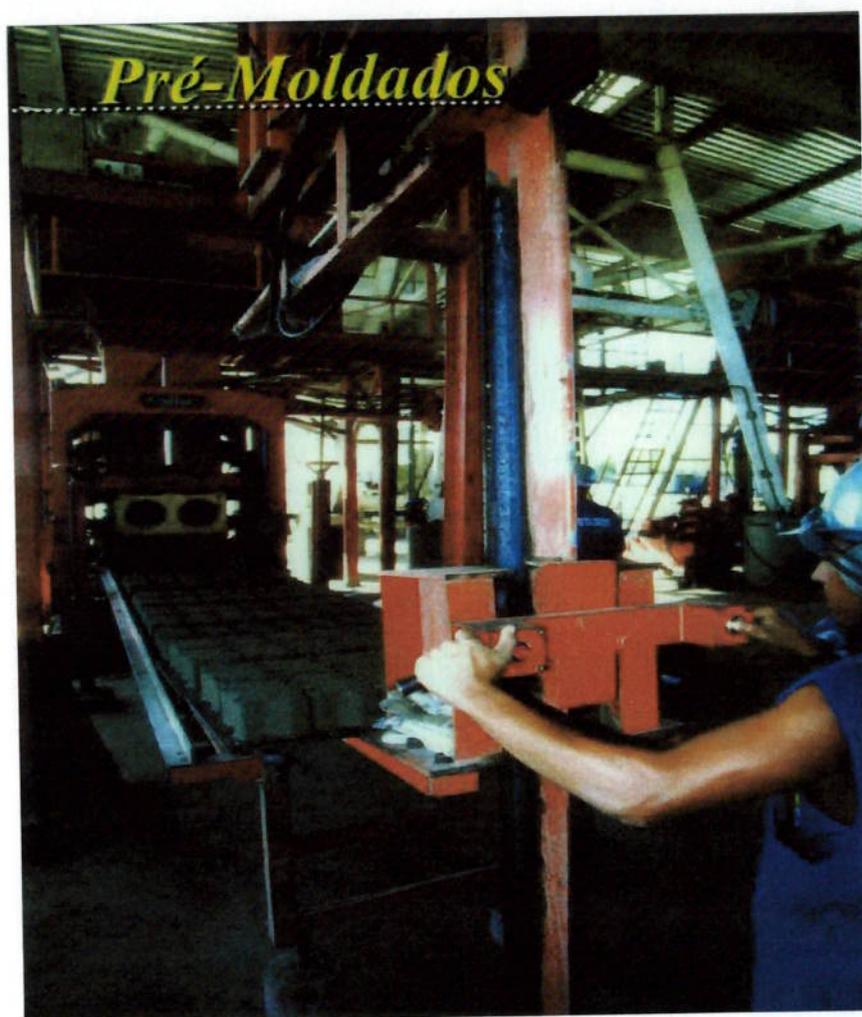


fig 58 - máquina de pré-moldados da Genipabu Industrial



fig.59 – Blocos Estruturais produzidos na Jotadois



fig. 60 – Secagem de blocos para aumentar a resistência mecânica

Traço utilizado na produção dos blocos estruturais

Na elaboração dos blocos estruturais foi utilizado o seguinte traço e características *:

dimensões do bloco estrutural: 14 x 19 x 39 cm;

cimento: 48 kg;

areia com 3% de umidade: 0,12 m³ ;

brita fina de 9,5 mm: 0,084 m³ ;

resíduo das serrarias com Fe: 10%

água limpa : 14 litros

*Foi retirado 10% de areia e colocado no lugar da areia 10% do resíduo.

Os blocos devem ser rompidos aos 28 dias da sua produção, para que durante este período possa aumentar sua resistência mecânica, pois a resistência cresce com a idade rapidamente nos primeiros dias e depois lentamente. Por isso a resistência é sempre referida com a idade. Aos sete dias de idade, a resistência à compressão é em torno de 60% da resistência aos vinte e oito dias. No caso do bloco estrutural, o valor de referência é $f_{ck} = 5,5$ Mpa aos 28 dias. Os resultados obtidos estão na tab.43

Na elaboração de pisos para pavimentação de áreas externas, resistentes até o peso de um carro pequeno normal, é utilizado o seguinte traço:

cimento : 120 kg;

areia com 3% de umidade : 0,28 m³ ;

brita fina de 19 mm : 0,185 m³ ;

água limpa : 15 litros.

Tabela 43 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO*
EM BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA.

Blocos Nº	DIMENSÕES MÉDIAS mm					LIMITE DE RESISTÊNCIA MPa
	c	x	h	x	l	
01	394	x	190	x	140	7,1
02	395	x	192	x	140	6,1
03	395	x	192	x	140	9,7
04	395	x	192	x	140	4,4
05	395	x	192	x	140	4,7
06	395	x	190	x	140	7,9
07	395	x	191	x	141	8,9
08	395	x	191	x	140	7,2
09	395	x	191	x	140	7,9
10	395	x	191	x	140	6,4

c – Comprimento, h – Altura, l - Largura

Data da moldagem: 13/11/2000

Idade dos blocos: 24 dias

* (NBR 7184 / 91)

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ESTUDOS PARA USO DO RESÍDUO NA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, utilizando os blocos estruturais produzidos na empresa Jotadois, estão apresentados na tabela 43. Estes resultados são promissores e favoráveis à utilização do resíduo na composição da mistura como substituto da areia. Com a incorporação de 10% do resíduo à mistura observou-se que ocorreu um aumento significativo da resistência à compressão, com valores superiores aos estabelecidos pelas normas ($f_{ck} = 5,5$ Mpa aos 28 dias) da ABNT e utilizados pela empresa Jotadois.

Apenas nos ensaios 4 e 5 da tabela 43, esses valores foram ligeiramente inferiores. Isto porém, não compromete os resultados obtidos no conjunto, uma vez que, a média obtida desses valores foi de 7,03 Mpa, superando assim, as condições

exigidas. Além disso, blocos estruturais foram rompidos aos 24 dias de sua produção, e mostraram no conjunto valores médio superiores ao exigido.

Os estudos realizados indicaram que o resíduo poderá ser utilizado como carga na composição da massa, para produção de blocos estruturais, pisos para pavimentação de áreas externas e lajotas, desde que seja adicionado como substituto da areia na mistura com os outros ingredientes: cimento, areia, brita fina, água, numa proporção de 10%.

A adição de uma quantidade maior do resíduo à mistura poderá ser utilizada, considerando-se que os valores de resistência à compressão determinados com a adição de 10% do resíduo, mostraram um aumento expressivo da resistência à compressão. Em decorrência disto, uma maior parcela do resíduo poderá ser incorporada à mistura. Assim sendo, é recomendável aumentar o percentual de incorporação do resíduo à mistura (até 50%) e em seqüência avaliar a resistência à compressão.

5.4 – Avaliação do uso do resíduo para cerâmica de revestimento

Foram produzidos 12 corpos de prova no laboratório de processos cerâmicos da Ditem, visando a realização de estudos para aproveitamento do resíduo na cerâmica de revestimento. Utilizou-se nesta fase a amostra purificada no CETEM com teor de Fe 0,7%, e como ligante foi usada a argila proveniente da cerâmica Cascavel S.A, caracterizada anteriormente.

O procedimento foi o mesmo comentado, ou seja, a argila foi moída até passar numa peneira de 20 #. O moinho utilizado foi o de bolas de porcelana. Em seqüência, preparou-se uma mistura com argila e resíduo beneficiado, e após a mistura ser

peneirada (2,83 mm) e molhada (15% de água), foi moldada e prensada (2,5 tons), formando os corpos de prova apresentados na fig 54. e especificados em seguida:

- 4 corpos de prova com 10% de resíduo incorporado à argila;
- 4 corpos de prova com 20% de resíduo incorporado à argila;
- 4 corpos de prova com 30% de resíduo incorporado à argila;

Estes corpos de prova após serem retirados do molde foram colocados na bancada do laboratório para secagem natural por 24 h, visando aumento da resistência mecânica. Em seqüência, os corpos foram transportados para o departamento de engenharia civil da UFC onde ocorreu a queima a

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA USO DE PÓ DE SERRAGEM PARA REVESTIMENTO CERÂMICO

Ultimamente a tecnologia de monoqueima vem se tornando padrão para fabricação de peças de revestimento. Paralelamente uma quantidade grande de tipos de matérias primas vem sendo viabilizados para manufatura do substrato de tais peças.

A caracterização de novas matérias primas para revestimento contempla uma fase inicial de ensaios preliminares e outra de ensaios específicos. Para testarmos o pó de serragem seguimos uma via intermediária de ensaio preliminar. A qual seria adicionar proporções numa massa já em uso pela industria de revestimento e observamos o desempenho após queima em duas temperaturas do material. Assim, foram adicionados na formulação original de revestimento, constituído de um material

classificado como filito, amostras de 10, 20 e 30 % de pó de serragem.

Foram prensados corpos de prova (mesmas dimensões anteriores só que agora com metade da espessura) e queimados a temperaturas de 900 e 1000 °C. A análise preliminar consistiria em observar a ocorrência de rachaduras e/ou empenamentos visíveis assim como possíveis alterações na coloração do substrato cerâmico.

O resultado das queimas apontou para ausência de rachaduras e empenamentos, assim como uma alteração mínima de coloração. Estes resultados promissores indicam a necessidade de uma bateria de testes específicos para determinar a real possibilidade de uso do material como aditivo na indústria de revestimento. Os testes específicos recomendados incluiriam refratariedade (para possibilitar ajustes no tempo de queima e temperatura do forno), resistência mecânica, coeficiente de dilatação térmica (ajustes no engobe e esmalte) e análise termodiferencial (ajustes no esmalte).

6. - CONCLUSÕES

O s resultados obtidos nos estudos desenvolvidos com o resíduo provenientes das serrarias, visando o seu aproveitamento nas indústrias de cerâmica vermelha, cerâmica para revestimento e construção civil: bloco estrutural, argamassas de assentamentos e emboco possibilitou as seguintes conclusões:

1. Existe a viabilidade técnica de se purificar o resíduo através da ciclonação. Tal processo foi capaz de reduzir o teor de Fe contido no resíduo de 4,9% para valores de 3,5% Fe (tabela 22 e 23). Com uma redução do teor de Fe de 28,57%.

2. Os ensaios de separação magnética de baixa e alta intensidade utilizando o tubo Davis e o separador magnético Boxmag Rapid, foram considerados promissores, foi possível reduzir o teor de Fe do resíduo de 50% no tubo Davis e até 79% no separador magnético Boxmag Rapid (tabela 12 e 13).
3. Os ensaios de separação magnética usando o separador de tambor não foram promissores, a melhor redução obtida para o teor de Fe foi 32%. Partindo-se de uma amostra com 10,3% de Fe, se obteve concentrados com teor de Fe de apenas 7%.
4. Os ensaios de separação magnética usando o separador Carrossel, modelo CF-5, foram considerados promissores. Foram obtidos concentrados com teor de Fe de 3,2%. Em virtude disto, recomendamos que sejam realizados outros ensaios para obtenção de melhores resultados.
5. A concentração gravítica com mesa vibratória Denver, apresentou resultados satisfatórios. Foram obtidos concentrados com teor de Fe de 2%, ou seja, uma redução do teor de Fe de 59,2% da amostra inicial. Apesar disto, a mesa possui limites (pequena capacidade operacional). Os ensaios com a mesa Mozley foram considerados positivos. A partir de uma amostra com teor de Fe de 4,9%, foram obtidos concentrados com teor de 3,2%, representando uma redução no teor de Fe de 34,69% (tabela 20).
6. Os estudos desenvolvidos para aproveitamento do resíduo na cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento, construção civil: argamassas de assentamento e revestimento, bloco estrutural e piso para pavimentação de áreas, foram considerados

promissores. Seria interessante que uma indústria cerâmica se instalasse na região de Cachoeiro de Itapemirim, para aproveitamento do resíduo estudado.

7. Os resultados obtidos nos ensaios para determinação da resistência à compressão (médias) dos blocos estruturais foram superiores à 2,0 Mpa (mínimo estabelecido pela norma NBR 8491 (1984). Assim sendo, no traço estudado é possível ser aumentado a adição do percentual de incorporação do resíduo, em virtude da resistência à compressão medida ter apresentado valores superiores aos exigidos pela norma da ABNT. Observou-se que com a adição do resíduo (10%) no traço usado na Jotadois, ocorreu um aumento significativo da resistência à compressão, indicando assim, a possibilidade de utilização de maior quantidade de resíduo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, C. R. A. **Banco de dados de rochas ornamentais do Ceará.** Fortaleza: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1997.
- ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. **Tecnologias de lavra e beneficiamento.** Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1996. (Estudos econômicos sobre rochas ornamentais, v.3)
- ALVES, J. D. Argamassas, traços, aplicações. In: ALVES, J. D. **Materiais de construção.** 4 Ed. São Paulo: Nobel, 1977. v. 1, p. 89-102.
- ALVES, J. D. Materiais cerâmicos, classificação dos materiais cerâmicos na construção civil, In: ALVES, J. D. **Materiais de construção,** 4 Ed. São Paulo: Nobel, 1978. v. 2, p. 215 - 261.
- ARCOVERDE, W. L. Depósitos de mármore e granitos do Brasil. **Brasil Mineral,** n. 94, p.44 - 8, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimento:** determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 3p. (NBR: 12.764).
- Rochas para revestimento:** determinação do coeficiente de dilatação. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 3p. (NBR: 12.765).
- Rochas para revestimento:** determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, e absorção de água aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 2p. (NBR: 12.766).
- Rochas para revestimento:** determinação da resistência à flexão. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 3 p. (NBR 12763).
- Rochas para revestimento:** análise petrográfica. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 2p.(NBR 12.678).

- Rochas para revestimento:** determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. (NBR: 12.767).
- AZAMBUJA, J. C.; SILVA, Z. C. G. **Perfil analítico dos mármore e granitos.** Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1977. (Boletim, n. 38).
- ARCOVERDE, W. L., SILVA, E. A. Rochas Ornamentais. **Sumário Mineral Brasileiro.** Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM. v.17, p. 86-7, 1997.
- ARCOVERDE, W. L., SILVA, E. A. Rochas Ornamentais. **Sumário Mineral Brasileiro.** Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM. v.16, p. 84-5, 1996.
- ARCOVERDE, W. L., SILVA, E. A. Rochas Ornamentais. **Sumário Mineral Brasileiro.** Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM. v.18, p. 78-9, 1998.
- BERG, E. A. T. **Estudo tecnológico de argilas do Estado do Paraná.** São Paulo, 1970. 133p., Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- BEZERRA, F. D. **Aspectos técnicos-econômicos da indústria de beneficiamento de granito no Nordeste.** In: Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Olinda / PE, 1998. **Anais.** p. 134 – 149.
- BRANDÃO, W.; SARDOU FILHO, R.; QUEIROZ, E. T. Mármore, granitos e outras rochas ornamentais no Brasil. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Principais depósitos minerais do Brasil.** Brasília: DNPM/ CPRM / MME, 1991. v. 4A, p. 371-426.
- BORTOLUSSI, A. et al. Escavazione e preparazione du blocchi di granito, **Marmi Graniti, Pietri, Carrara,** n. 162, p. 17 – 33, 1989.
- BURT, R. O. **Gravity concentration technology.** New York: Elsevier, 1984. Caps. 6, 7, 11, 13, 14.
- CARANASSIOS, A. A utilização do fio diamantado como tecnologia avançada para extração de granitos para fins ornamentais. **Rochas de Qualidade,** n. 106, p. 79-85, 1991.

- CARANASSIOS, A.; CICCUCI, R. Tecnologia de extração e valorização das rochas ornamentais. **Rochas de Qualidade**, n. 109, p. 58-77, 1992.
- CARANASSIOS, A. **Applicazione di tecnologie avanzate per il taglio del granito**. Itália, (s.d.) 309p., Tese (Doutorado). Università Degli Studi Di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Mineraria e Mineralúrgica.
- CARRISSO, R. C.; CORREIA, J. C. G. Classificação. In: TRATAMENTO de minérios; 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/ CNPq, 1998. Cap. 5, p. 224-34.
- CARUSO, L. G. Pedras naturais-extração, beneficiamento e aplicação. **Rochas & Equipamentos**, n. 43, p. 98-156, 1996.
- CARUSO, L. G. ; TAIOLI, F.; FARJALLAT, J. E. S. Os mármore e granitos brasileiros: seu uso e suas características tecnológicas. **Rochas de Qualidade**, n. 47, p. 36-45, 1978.
- CARVALHO, D.; MACHADO, M. Técnicas para polimento e lustro de mármore e granitos. **Brasil Mineral**, n. 102, p. 28-30, 1992.
- CASSA, J. C. ; GUIMARÃES, C. E. ; LIGUORI, F.; CARNEIRO, A. P.; MOTA, R. M.; PEREIRA, G. S. **Aproveitamento de resíduos como materiais de construção**. Salvador: Escola Politécnica da UFBA, 1998. 15p. In: Workshop Reciclar - Rede Cooperativa de Pesquisas, DCTM – Grupo de Estudos de Materiais de Construção; Salvador. 1998.
- CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Signus, 1996. v.1, cap. 3, p. 152-66: Introdução.
- CHAVES, A. P.; QUEIRÓS, D. S. B.; MAIA, G. S.; BARROS, L. A. F.; HORTA, R. M. Desaguamento mecânico. In: CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Signus, 1996. v. 2, cap. 4, p. 238-42.
- CHIODI FILHO, C. **Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais**. Rio de Janeiro: CETEM/ CNPq, 1995. (Série Estudos e Documentos, n. 28)

- CICCU, R. Water jet in ornamental stone engineering. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. **Anais**. São Paulo: EPUSP, 1993. p.407-24.
- CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARESEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, cap. 4, método de ensaio para avaliação das características e propriedades das argamassas e dos revestimentos. 1995. p. 56 – 106.
- COPELAND, A. E.; HAYNES, G. N.; PORTERFIELD, C. W. Fine coal cleaning with tables. **Mining Congress Journal**, Denver, v. 46, p. 44-7, Oct. 1960.
- DEURBROUCK, A. W.; PALOWITCH, E. R. Hydraulic concentration. In: LEONARD, J. W., ed. **Coal preparation**. New York: AIME, 1979. Pt. 2, p. 10-67.
- FARIAS, C. E. G.; CALAES, A. D. **Mercado nacional**. Fortaleza, Instituto Euvaldo Lodi, 1995. p. 3-5. (Estudos econômicos sobre rochas ornamentais, v. 2)
- FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da Poluição ambiental**. 2 ed. São Paulo: USP, 1980. 193p.
- FONSECA, M. V. A. **Reciclagem de rejeitos sólidos: desenvolvimento em escala de laboratório, de materiais vítreos a partir de xisto retornado**. São Paulo, 1990. 224p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FREIRE, A. S. ; MOTTA, J. F. Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito. **Rochas de Qualidade**, n. 123, p. 98-106, jul./ ago. 1995.
- FERREIRA, J. P. **Otimização na produção de teares a partir do controle da composição da lama abrasiva**. Cachoeiro do Itapemirim, 1996. 96 p. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo.

- FERRAN, A.; CHAVES, A. P. ; NOGUEIRA FILHO, J. V. **Projeto MULTIMIN: cadastramento dos recursos minerais do Brasil - estudo de casos.** São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas/ EPUSP, 1999.
- GUIMARÃES, A. Construção civil descobre encantos da flamagem. **Mineração Metalurgia**, n. 531, p. 27-8, 1994.
- GUERRA, A. T. **Dicionário geológico – geomorfológico.** 5. ed. Rio de Janeiro: Secretaria de Planejamento da Presidência da República, 1978.
- GAUDIN, A.M. **Principles of mineral dressing.** New York: Mc Graw – Hill, 1978. Cap. 12-13.
- HORN FILHO, F. X. **Beneficiamento do diatomito de Canavieira – Ceará.** Rio de Janeiro, 1981. 139 p. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- INFORME CETEMAG - **Reaproveitamento industrial pode gerar lucro.**, n.º. 19, Ano 7, 9ª Feira Internacional do Mármore e Granito, Jornal Cetemag, p. 8. Outubro / Novembro de 1997.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Tratamento de minérios e hidrometalurgia:** in memorial Prof. Paulo Abib Andery. Recife: ITEP, 1980. p. 140-64.
- KRAUS, G. R.; ASSIS, I. S.; CAZELLI, G. M. M. **Estudos de layout em marmorarias.** Cachoeiro do Itapemirim, 1996. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo.
- LINS, F. F. Concentração gravídica. In: **TRATAMENTO de minérios;** 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/ CNPq, 1998. Cap. 6, p. 284-6.
- LEINZ, V.; LEONARDOS, O. H. **Glossário geológico - iniciação científica** São Paulo: Companhia Editora Nacional/EDUSP, 1971.
- MACEDO, A. J. B. **Análise empírica de maciços rochosos para rochas com fins ornamentais.** Campina Grande. 1998. 207 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba.

- MACHADO, M. Técnicas de polimento e lustro de rochas. **Brasil Mineral**, n. 96, p. 26-9, fev. 1992
- MANCINI, R. ; CARDU, M. Estrazione in Italia delle pietre ornamentali dure: rapporto generale sui metodi e le produttività. In: CONGRESSO STONEX INTERNACIONAL, Bangalore, Índia. 1995. **Anais**. p. 68 -97.
- MANNELLA, P.; DANESI, R. Pesquisa estuda o sistema de distribuição de mistura abrasiva em busca da melhoria da serragem dos granitos. **Rochas de Qualidade**, n. 140, p. 70- 8, mar./ abr. 1998.
- MELO JR., L. A. **Panorama da indústria de rochas ornamentais e oportunidades para o Ceará**. São Paulo, 1991. 152p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- MILLS, C. **Mineralogy and heavy liquid analysis in gravity separation**. Reno, Mackay School of Mines. University of Nevada, 1978. /Apresentado ao Gravity Separation Tecnology Short Course, Reno, 1978/
- MIRANDA Y GUTIERREZ, E. F. **Preparacion mecânica de minerales y carbones**. 3. ed. Madrid: Dossat, 1965. p. 168-244.
- MINEROPAR, - Minerais do Paraná S. A., **Consumo mineral na indústria de transformação**. Curitiba / Paraná, 1988. 401p., Secretaria de Estado do Paraná da Indústria e Comércio. P. 7 -23.
- MOYA, M. M. **A indústria de rochas ornamentais: estudo de caso na região de Bragança Paulista**. São Paulo, 1995. 116p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- MOREIRA, M. D. **Aplicações dos minerais e rochas industriais**. In: Materiais para construção, caps. II, III, pedras de revestimento, produto cerâmicos. Salvador / Bahia, 1994. 87p., Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia – Sergipe. p. 14 – 19.

- NASR, N. Y. Pó de rocha, a solução para solos improdutivos. **Rochas de Qualidade**, n. 107, p. 73, 1991. 2 p.
- NETO, J. P. **Tecnologia de beneficiamento de rochas ornamentais**. In: Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Olinda / PE, 1998. **Anais**. p. 62-69.
- PINHEIRO, A. L. **Metodologia de especificação e aplicação das rochas ornamentais**. Cachoeiro do Itapemirim, 1996. Monografia. CETEMAG, Universidade Federal do Espírito Santo. p. 6-7.
- PONTES, I.F. **Relatório sobre "Curso de tecnologia avançada em extração e beneficiamento de rochas ornamentais" (RV10/97)**. Rio de Janeiro, Departamento de Tratamento de Minérios, CETEM / CNPq / MCT, 1997.
- POSSA, M. V. – **Efeitos da viscosidade no processo de deslamagem com microciclones em polpa não Newtoniana de rocha fosfática**. São Paulo, 2000. 154p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PELLEGRINI, MARMOMACCHINE, S.R.L. – Complete plants for the rustic finishing of marble granite stone concrete and artificial stones. Bush – hammering; flaming and sand - blasting lines. Automatic stone handling systems. UE, Catálogo, 93, 48p., 1993. Italy.
- RUSSO, S. Máquina para corte com água a alta pressão em pedra de granito ou mármore. **Rochas & Equipamentos**, n. 33, p. 39-43, 1994.
- SANTOS, P. S. Argilas como matérias – primas cerâmicas. In: SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas**. São Paulo, Edgard Bluchercap, 1975. v.2, aplicações, cap. 16, p. 387 – 390.
- SANTOS, P. S. Ensaio preliminares de laboratório visando usos industriais e cerâmicos. In: SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas**. São Paulo: Edgard Bluchercap, 1975. v.1, fundamentos, cap. 10, p. 175 – 209.

- STELLIN JÚNIOR, A. Mármore e granitos brasileiros. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 1., Cagliari, 1990. **Memorie**, Cagliari: Università degli Studi di Cagliari/Dep. Engenharia de Minas da EPUSP, 1990. p. 293-306.
- STELLIN JR., A.; CARANASSIOS, A. A extração de rochas ornamentais. **Brasil Mineral**, n. 89, p. 30-4, 1991.
- STELLIN JR., A.; CARANASSIOS, A.; AYRES DA SILVA, L. A. Considerações acerca do estado de tensões dos maciços na lavra de rochas ornamentais. In: CONGRESSO ITALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 3, Verona, 1994. **Atti**. Parma: EPUSP/Università di Cagliari/ANIM, 1994. p. 283-5.
- STELLIN JÚNIOR, A. **Serragens de granitos para fins ornamentais**. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade de São Paulo, 1998. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PMI/085)
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Curso de aperfeiçoamento de encarregados de serrarias de mármore e granitos – Processo de produção de uma serraria de mármore e granito. **Rochas de Qualidade**, n. 111, p. 82-91, 1992
- SIVAMOHAH, R.; FORSSBERG, E. Principles of tabling. **International Journal of Mineral Processing**, v. 15, p. 281-95, Nov. 1985.
- SILVA, R. C. M. **Desenvolvimento de um novo equipamento gravítico**. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SILVA, R. E. C. **Estudo geológico-técnico-ambiental de uma pedreira de rocha ornamental no município de Santo Antônio de Pádua**. Rio de Janeiro, 1999. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, UFRJ.
- SILVA, S. A. C. **Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo do Potencial de aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de**

- Solo – Cimento.** Espírito Santo, 1998. 159p. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Desenvolvimento em Construção Civil - NDCC, Universidade Federal do Espírito Santo.
- SILVEIRA, G.T.R. **Gestão ambiental de resíduos sólidos.** Revista Saneamento ambiental. Ano VI, nº 40. p. 30 – 35, 1996.
- TRAJANO, R. B. **Princípios de tratamento de minérios.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1966. 178 p.
- TRAWINSKI, H.; DONHAUSER, F. El hidrociclón y su aplicación en preparación de caolin, 1978, Madrid.
- TRAWINSKI, H. – Operation of baffle ring cyclones.
- TRATAMENTO de minérios; 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/ CNPq, 1998. 676 p.
- VIDAL, F. W. H. **Estudos dos elementos abrasivos de fios diamantados para lavra de granitos do Ceará.** São Paulo, 1999. 173 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- VIDAL, F. W. H.; BESSA, M.F.; LIMA, M. A. B. **Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas.** Rio de Janeiro, 1999. 30p. Série tecnologia mineral / CETEM.
- VIDAL, F. W. H. **A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará.** São Paulo, 1995. 178p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- VIDAL, F. W. H. **Tecnologia de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais: estudo econômico sobre as rochas ornamentais do nordeste.** Rio de Janeiro, 1995.
- ZIMMERMAN, R. E. The cleaning of the sizes of bituminous coals by concentrating tables. **Transactions of AIME**, New York, v. 187, p. 956-66, Sep. 1950.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL
CETEM/CNPq
DEPARTAMENTO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS

**Caracterização Mineralógica de Rejeito de Beneficiamento de
Rocha Granítica**

Arnaldo Alcover Neto
Geoquímico, D. Sc.

Livre

Reservado

Confidencial

setembro/99

RT 31/99 - Projeto Elaborado para o DTM/CETEM

INTRODUÇÃO

Este relatório foi efetuado a pedido do Engenheiro Ivan Falcão, do Departamento de Tratamento de Minérios do CETEM, e visou caracterizar qualitativa e semi quantitativamente a mineralogia de uma amostra de resíduo de beneficiamento de rochas graníticas.

METODOLOGIA

Aproximadamente 2 kg da amostra foram homogeneizados, sendo metade arquivada e outra metade processada na caracterização mineralógica. Uma fração de aproximadamente 40 g foi enviada para análises químicas para quantificação dos teores em SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, MnO, CaO, MgO, Na₂O, K₂O e também para perda ao fogo (PF).

Para verificar a distribuição granulométrica, o restante da amostra foi classificado em peneiras de 0,295, 0,208, 0,104, 0,074, 0,053, 0,044, 0,037 e 0,020 mm, respectivamente 48, 65, 150, 200, 270, 325, 400 e 635 malhas (série Tyler).

Para a caracterização mineralógica, as frações +0,295 e -0,295+0,208 mm e -0,037+0,020 e -20 mm foram analisadas em lupa binocular estereoscópica e também por difração de raios X (DRX). Ainda para identificação mineralógica e, buscando concentrar fases minerais em frações mais específicas, as amostras entre -0,208+0,104 e -0,044+0,037 mm foram separadas graviticamente em meio de densidade 2,8 (bromofórmio) e as partes de afundadas separadas em campos magnéticos de aproximadamente 0,6 kG (ímã de mão) e em separador isodinâmico Frantz, em campos de 1, 5, 8 e 15 kG. As diferentes frações assim obtidas foram caracterizadas com uso de lupa binocular estereoscópica e, aquelas mais concentradas em minerais específicos, analisadas por DRX.

O equipamento de difração de raios X utilizado foi um Siemens/Brucker – AXS D5005, equipado com espelho de Goebel para feixe paralelo de raios X, monocromador de grafite, quando necessário, e detetor de NaI de estado sólido. A radiação utilizada foi Cu K α (40 kV/40 mA); a velocidade do goniômetro foi de 0,02° 2 θ por passo com tempo de contagem de 1,0 segundo por passo. A interpretação foi efetuada por comparação com padrões contidos no PDF 02 (ICDD, 1996) em software Siemens Diffrac^{Plus}. Um difratograma representativo da amostra total foi obtido em condições especiais (velocidade do goniômetro foi de 0,01° 2 θ por passo com tempo de contagem de 9,0 segundo por passo) para quantificação das fases mineralógicas presentes pelo método de Rietveld no software SIROQAUNT, especialmente desenvolvido para quantificações minerais.

O microscópio eletrônico de varredura utilizado foi um LEO S440, equipado com sistema de microanálise por dispersão de energia Link ISIS L300 com detetor de SiLi Pentafet, janela ultrafina ATW II, de resolução de 133 eV para 5,9 keV. Todas as análises foram executadas com 20 kV de tensão de aceleração de elétrons. As imagens foram geradas predominantemente por detetor de elétrons retro-espalhados (*backscatter electrons detector* – BSD), onde os níveis de cinza são proporcionais ao peso atômico médio dos elementos excitados pelo feixe de elétrons durante a varredura, sendo portanto imagens composicionais, com os tons mais claros representando as fases de densidades atômicas médias mais elevadas. A resolução da microanálise por EDS é da ordem de 1 μ m de raio

em superfície e uma profundidade da ordem de 1,5 a 5 μm , dependendo da densidade do material no ponto analisado.

O fluxograma da Figura 1 esquematiza a metodologia comentada.

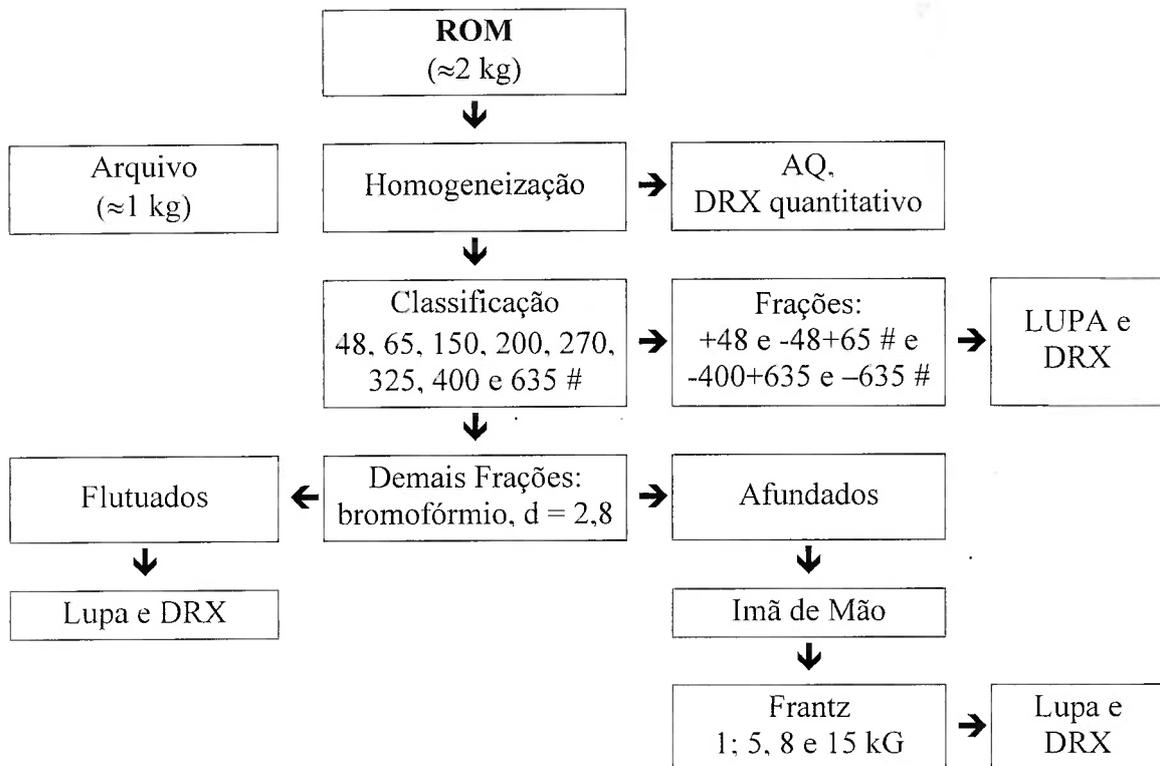


Figura 1 - Fluxograma de blocos ilustrando o procedimento de caracterização da amostra de Pó Granítico.

RESULTADOS OBTIDOS:

A composição química da amostra é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química (elementos maiores) e perda ao fogo de duas análises químicas da amostra de resíduo de beneficiamento de granito.

Óxidos e PF	Pó Granítico (% peso)	
	Análise 1	Análise 2
SiO ₂	35,80	35,5
Al ₂ O ₃	6,92	8,22
Fe ₂ O ₃	5,97	6,63
TiO ₂	0,48	0,96
MgO	5,85	6,59
Na ₂ O*	1,23	3,15
K ₂ O	3,46	3,44
CaO	12,40	12,62
MnO		0,077
P.F.	14,21	14,5

* O valor de Na₂O encontrado na análise 2 é incompatível com os demais dados quantitativos desse relatório e não será mais considerado.

A distribuição granulométrica da amostra de resíduo de beneficiamento de granito é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica em percentagens em peso, peso passante e peso acumulado da amostra de resíduo de beneficiamento de granito.

Malhas	Tamanho (mm)	% Peso	% Peso Acumulado	% Peso Passante
+48	+0,295	0,73	0,73	99,27
-48+65	-0,295+0,208	1,63	2,36	97,64
-65+100	-0,208+0,149	3,99	6,35	93,65
-100+150	-0,149+0,105	3,77	10,12	89,88
-150+200	-0,105+0,074	6,89	17,01	82,99
-200+270	-0,074+0,053	8,03	25,04	74,96
-270+325	-0,053+0,044	7,96	33,01	66,99
-325+400	-0,044+0,037	5,14	38,15	61,85
-400+635	-0,037+0,020	17,98	56,12	43,88
-635	-0,020	43,88	100,00	
Total		100,00		

A Tabela 3 mostra a distribuição obtida nos ensaios em meios denso e eletromagnético nas frações granulométricas entre $-0,208+0,149$ e $-0,044+0,037$ mm da amostra de resíduo de beneficiamento de granito. As frações mais grosseiras que 0,208 mm não foram processadas devido à alta concentração de matéria orgânica, estimadas respectivamente em 10 e 5% em volume nas amostras $+0,295$ e $-0,295+0,208$ mm.

Tabela 3 - Distribuição percentual obtida nos ensaios em meios denso e eletromagnético da amostra de resíduo de beneficiamento de granito.

Fração (mm)	Flutuado (% peso)	Afundado (% peso)						Total
		Ímã de Mão	1 kG	5 kG	8 kG	15 kG	Não magnético	
+0,149	26,37	35,72	20,78	6,92	0,61	0,69	8,92	73,63
+0,105	43,01	23,55	5,52	7,99	0,78	0,67	18,47	56,99
+0,074	48,44	15,63	4,13	7,37	0,90	0,57	22,97	51,56
+0,053	68,66	4,73	1,43	5,62	1,12	18,02	0,42	31,34
+0,044	65,58	1,83	1,99	3,25	2,32	0,76	24,28	34,42
+0,037	60,94	2,29	0,80	3,51	2,12	0,93	29,41	39,06

As análises por DRX foram efetuadas em algumas frações obtidas nas separações granulométrica, gravítica e magnética, previamente escolhidas em observação em lupa binocular estereoscópica. Quartzo, feldspatos, e dolomita foram os minerais mais evidentes e biotita, muscovita, anfíbólios, piroxênios, calcita e magnetita ocorrem de maneira mais restrita. A Tabela 4 lista os resultados obtidos.

Tabela 4 – Composição mineralógica determinada por DRX em algumas frações extraídas da amostra de rejeito de beneficiamento de granito.

Fração	Mineralogia
+100, flutuado	Quartzo, Anortita, Microclínio e Dolomita
+100#, afundado, magnético em ímã de mão	Quartzo, Anortita, Microclínio, Biotita, Dolomita e Magnetita
+100, afundado, magnético a 1 kG	Quartzo, Anortita, Albita, Microclínio, Biotita e Dolomita
+325#, afundado, magnético a 5 kG	Quartzo, Anortita, Albita, Microclínio, Biotita e Dolomita, Illita e Actinolita
+200#, afundado, magnético a 5 kG	Biotita, Dolomita, Albita, Actinolita, Fayalita
+270#, afundado, magnético a 8 kG	Dolomita, Albita, Muscovita, Fayalita, Anortita, Actinolita
+100#, afundado, não magnético a 15 kg	Quartzo, Anortita, Albita e Dolomita
-635#, fração total	Quartzo, Feldspatos, Biotita, Dolomita, Anfíbólio e Calcita

O espectro de difração de raios X obtido na amostra total para cálculo da quantificação mineralógica pelo método Rietveld caracterizou biotita, anfibólio (hornblenda e/ou actinolita), quartzo, dolomita, microclínio, albita e anortita como as principais fases constituintes da amostra. Como a quantificação por Rietveld foi efetuada sem uso de padrão interno de concentração conhecida, os resultados originais foram obtidos normalizados para 100%. A Tabela 5 mostra esses dados normalizados e aqueles obtidos após correção utilizando o valor de Na₂O da Tabela 1 (análise 2) como referente exclusivamente ao contida no plagioclásio sódico (albita) da amostra.

Tabela 5 – Quantificação mineralógica original e corrigida pelo teor de Na₂O obtida por DRX/Rietveld

	Rietveld	Rietveld Corrigido
Dolomita*	32	29
Quartzo	16	14
Albita	13	11
Anortita	16	15
Microclínio	23	21
Biotita	1	1
Anfibólio	< 1	< 1
Total	100	91

* apesar da calcita não ter sido detectada no DRX da amostra total, sua presença é marcante no DRX da fração -0,037 mm, que representa quase 44% em peso da amostra, e deverá ser considerada na estimativa final da quantificação mineralógica.

CONCLUSÕES

A amostra de rejeito de beneficiamento de rochas graníticas apresenta mais de 60 % de sua massa em granulometria inferior a 37 μm (passante em peneira de 400 malhas) onde a mineralogia predominante determinada por DRX é feldspatos (albita, anortita e microclínio) quartzo, dolomita, calcita, biotita, e anfibólio.

Nos ensaios efetuados em meio eletromagnético realizados nas frações de granulometrias entre 0,149 e 0,037 mm, utilizando os dados das Tabelas 2 e 3, caracteriza-se 4,03% da massa total da amostra como magnética em campo de aproximadamente 0,6 kG (imã de mão) formada por partículas contendo alguma magnetita, mineral confirmado por DRX, e limalha de ferro. Analogamente, caracterizou-se respectivamente 1,64, 1,98, 0,50 e 1,65% da massa total da amostra como magnética em campos de 1, 5, 8 e 15 kG. Esse comportamento de parte das partículas constituintes da amostra caracteriza a presença de ferro em diferentes estruturas minerais, além daquele relativo a limalha de ferro, e explica a presença de aproximadamente 6% de Fe_2O_3 observado nas análises químicas da Tabela 6. Além do ferro contido na limalha de ferro e magnetita, entre os minerais predominantes na amostra, são portadores desse elemento, a biotita e o anfibólio e, eventualmente a dolomita.

Levando em consideração as observações efetuadas em lupa binocular, difração de raios X e os teores em óxidos constituintes de amostra obtidos nas análises químicas estima-se uma distribuição mineralógica de aproximadamente 45 a 50 % de feldspatos, 15 % de quartzo, 30 % de dolomita, 5% de calcita, 1 % de filossilicatos (biotita + muscovita), 1 a 2 % de anfibólios e piroxênios, 1 % de metálicos (magnetita/hematita e ilmenita e limalha de ferro/limonita) e menos de 1 % de matéria orgânica.

Relatório elaborado por:
- Arnaldo Alcover Neto

Trabalho Experimental por:
- Adauto José da Silva
- Arnaldo Alcover Neto

Fernando Freitas Lins
Diretor

Juliano Peres Barbosa
Diretor Adjunto

Adão Benvindo da Luz
Chefe do Depto. de Tratamento de Minérios

Reiner Neumann
Chefe do Setor de Caracterização Tecnológica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0349/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO
PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 20 08 011

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 06/11/2000

Identificação

Da
Amostra

Espécie(s)

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂
	%	%	%	%	%	%	%	%
HS2	2,7	4,4	14,2	50,8	1,4	2,5	6,9	2,2

MÉTODOS UTILIZADOS:

a) Fluorescência Raio X

OBS.:

Nilza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica
Chefe do Laboratório de
Química Analítica
PO 189/98

 **CNPq**
CETEM - Centro de Tecnologia Mineral
DEPTº DE QUÍMICA ANALÍTICA

CERTIFICADO DE ANÁLISES

Nº 0349/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO
PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 20 08 011

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 06/11/2000

Identificação

Da
Amostra

Espécie(s)

MnO ₂	Fe ₂ O ₃	SrO	PF	
%	%	%	%	
HS2	0,26	14,7	0,074	0,17

MÉTODOS UTILIZADOS:

a) Fluorescência Raio X

OBs.:


Nilza Maria Miranda

Resp. Técnico
CRQ Nº 031115443



Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0060/99

CLIENTE: IVAN

LOTE: 9902012

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

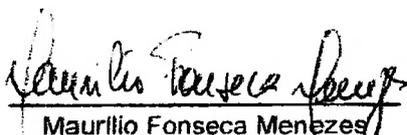
DATA DE EMISSÃO: 18/03/99

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)
	Fe ₂ O ₃
	%
+48	25,60
+65	19,78
+100	16,32
+150	9,84
+200	8,55
+270	6,03
+325	5,61
+400	6,05
-400	5,30

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica

OBS:


Maurílio Fonseca Menezes

Resp. Técnico
CRQ N^o 03111024



Maria Alice Cabral de Góes
Chefe do Depto de Química Analítica

Maria Alice Cabral de Góes
Chefe do Departamento de
Química Analítica
DTM/CETEM



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 00125/99

CLIENTE: IVAN

LOTE: 9904011

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

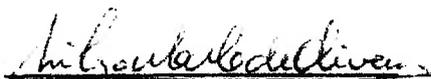
DATA DE EMISSÃO: 22/06/99

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)									
	MnO ^(c)	SiO ₂ ^(a)	Al ₂ O ₃ ^(b)	Fe ₂ O ₃ ^(c)	TiO ₂ ^(d)	MgO ^(c)	Na ₂ O ^(c)	K ₂ O ^(c)	CaO ^(e)	P.F. ^(a)
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
HS	0,077	35,50	8,22	6,63	0,96	6,59	3,15	3,44	12,62	14,50

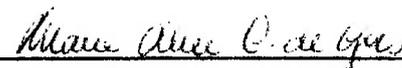
MÉTODOS UTILIZADOS:

- A - Gravimetria
- B - Titulação Potenciométrica
- C - Absorção Atômica
- D - Espectrometria UV/Visível
- E - Volumetria EDTA
- P.F. - Perda ao fogo à 1100 °C

OBS:


Nilza Maria Miranda da Oliveira

Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443



Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Departamento de
Química Analítica
22/06/99



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0185/99

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 9908032

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 08/09/99

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)
	Fe
	%
E1(não manga)	2,3
E1 (manga)	31,7
E2 (não manga)	1,9
E2 (magnético)	33,4
E3 (não manga)	1,0
E3 (manga)	15,6
E4F	3,4
E4A	21,8
E5 MDA	21,8
E5 MDF	3,7

MÉTODOS UTILIZADOS:

A - Espectrometria de Absorção Atômica com chama

OBS: SOLUBILIZAÇÃO EFETUADA PELA CRISTIANE SALGADO


Nilza Maria Miranda de Oliveira

Resp. Técnico

CRQ N^o 031115443


Maria Alice Cabral de Góes

Chefe do Depto de Química Analítica
Maria Alice Cabral de Góes
Chefe do Departamento de
Química Analítica
PO 189/98



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0256/99

CLIENTE: IVAN FALCAO

LOTE: 9909022

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 15/10/99

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)
	Fe %
E 6(Mag)	34,2
E 6 (NMag)	2,5
E 7 (Mag)	51,9
E 7 (NMag)	2,5
E 8 (Mag)	6,1
E 8 (NMag)	2,2

MÉTODOS UTILIZADOS:

OBS: VOLUMETRIA COM DICROMATO DE POTÁSSIO NO TITROPROCESSOR

Nilza Maria Miranda de Oliveira
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0278/99

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 9910 001

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 29/10/99

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)
	Fe
	%
E 2/RAP	1,4

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica

OBS:


Nilza Maria Miranda de Oliveira
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443


Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica

Nilza Maria Miranda de Oliveira
Chefe Substituta do Departamento
de Química Analítica
PO 190/98



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0288/99

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 9910 037

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DCA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 08/11/99

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)
	Fe %
PESM1	30,5
MISM1	3,3
LEVM1	2,0
HS-150	3,2

MÉTODOS UTILIZADOS:

Volumetria no titroprocessor com decromato de potássio

OBS:

Nilza Maria Miranda de Oliveira
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CNPq

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DEPT^o DE QUÍMICA ANALÍTICA

Rev.: 0
Jan/98

1/1

CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0304/99

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 9910 05

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 08/11/99

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)
	Fe (a,b) %
Rapid1 Mag	6,0
Rapid2 Mag	7,3
Rapid3 Mag	7,3
Rapid4 Mag	9,0
Rapid5 Mag	9,3
Rapid1 N.Mag	1,2
Rapid2 N. Mag	0,77
Rapid6 NMag	0,63
Rapid4 NMag	1,1
Rapid5 N Mag	0,67

MÉTODOS UTILIZADOS:

- a) Volumetria com dicromato de potássio no titroprocessor
- b) Espectrometria de Absorção Atômica com chama

OBS:

Nilza Maria Miranda de Oliveira

Resp. Técnico

CRQ N^o 031115443

Maria Alice Gabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0305/99

CLIENTE: IVAN FAIÇAO

LOTE: 9910 027

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 08/11/99

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)
	Fe (a,b) %
TD1 Mag	43,3
TD2 Mag	48,3
TD3 Mag	46,5
TD4 Mag	40,8
TD5 Mag	15,8
TD1 N Mag	1,6
TD2 N Mag	1,6
TD3 N Mag	1,6
TD4 N Mag	1,5
TD5 N Mag	1,4

MÉTODOS UTILIZADOS:

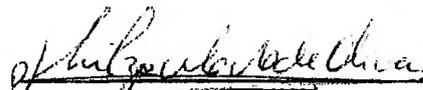
- Volúmetria com dicromato no titroprocessor p/ teores altos
- Espectrometria de Absorção Atômica com chama p/ teores baixos

OBS:


Nilza Maria Miranda de Oliveira

Resp Técnico

CRQ N^o 031115443


Maria Alice Cabral de Goes

Chefe do Depto de Química Analítica



CNPq

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DEPT^o DE QUÍMICA ANALÍTICA

Rev.: 0
Jan/98

1/1

CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 004/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO
PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 9912 003

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 04/01/2000

	Espécie(s)
	Fe
	%
C1Rec	2,9 .
C2Rec	2,8 .
R2Rec	4,0
R1Rec	4,0

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica

OBS.:

Nilza Maria Miranda

Resp. Técnico

CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 004A/2000
(REPETIÇÃO DE ANÁLISE)

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 9912 003

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 29/02/2000

	Especiais
	Fe
	%
C1Rec	2,7
C2Rec	2,7
R2Rec	3,3
R1Rec	3,3

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica

OBS.: REPETIÇÃO DE ANÁLISE COM NOVA SOLUBILIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DA CURVA MAIS ALTA DE FERRO POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

Nilza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

Nº 066/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO
PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 00 02 013

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 29/02/2000

	Espécie(s)
	Fe
	%
CCL1	2,8

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica

Obs.:

Nilza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ Nº 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CNPq

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DEPTº DE QUÍMICA ANALÍTICA

Rev.: 0
Jan/98

1/1

CERTIFICADO DE ANÁLISES

Nº 0141/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 00 04 013

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 26/05/2000

	Espécie(s)	
	Fe ₂ O ₃	Fe
	%	%
E4C1	5,0	3,5
E4C2	5,0	3,5
E4R1	7,4	5,2
E4R2	7,2	5,1
E5C1	4,9	3,5
E5C2	4,8	3,4
E5R1	6,4	4,5
E5R2	6,9	4,8

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica com chama

As.:

Nilza Maria Miranda

Resp. Técnico

CRQ Nº 031115443

Maria Alice Cabral de Goes

Chefe do Depto de Química Analítica



CNPq

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DEPTº DE QUÍMICA ANALÍTICA

Rev.: 0
Jan/98

1/1

CERTIFICADO DE ANÁLISES

Nº 0142/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 00 04 012

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 26/05/2000

	Espécie(s)	
	Fe ₂ O ₃	Fe
	%	
E3R1	10,9	7,6
E3R2	10,7	7,5

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica com chama

BS.:

Nilza Maria Miranda

Resp. Técnico

CRQ Nº 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CNPq

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DEPT^o DE QUÍMICA ANALÍTICA

Rev.: 0
Jan/98

1/1

CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0143/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 00 04 011

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 26/05/2000

	Espécie(s)	
	Fe ₂ O ₃	Fe
	%	%
E1C1	4,7	3,2
E1C2	4,8	3,4
E1R1	6,1	4,3
E1R2	6,3	4,4
E2C1	4,8	3,4
E2C2	4,9	3,5
E2R1	10,9	7,6
E2R2	10,8	7,5
E3C1	4,8	3,4
E3C2	5,0	3,5

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica com chama

Obs.:

Nilza Maria Miranda

Resp. Técnico

CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes

Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0245/2000
(RESULTADOS PARCIAIS)

CLIENTE: IVAN FALCAO
PROJETO: APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 00 06 035

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/1 C

DATA DE EMISSÃO: 03/07/2000

	Espécie(s)
	Fe ^(II)
	%
E 3 P1	4,0
E 3 P2	4,4
E 3 P3	4,7
E 3 P4	3,1
E3 P5	24,9

MÉTODOS UTILIZADOS:

1- Espectrometria de Absorção Atômica com chama

Obs.:

Faltando os resultados da Fluorescência de Razo X.


Nilza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443


Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

Nº 0241/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO
PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 20 06 001

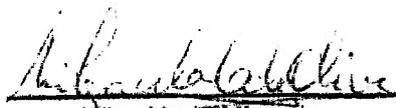
IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 30/06/2000

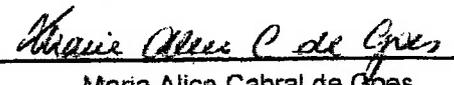
	Espécie(s)
	Fe
	%
PRODUTO 1	3,6
PRODUTO 2	3,3
PRODUTO 3	5,9
PRODUTO 4	4,2
PRODUTO 5	6,6

MÉTODOS UTILIZADOS:
Espectrometria de Absorção Atômica com chama

Obs.:



Nilza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ Nº 031115443



Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0263/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO
PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 20 06 035

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 24/07/2000

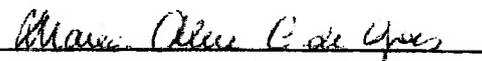
	Espécie(s)
	Fe
	%
E 3 P1	4,0
E 3 P2	4,4
E 3 P3	4,7
E 3 P4	8,1
E 3 P5	24,9

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica com chama

OBS.:


PI Nilza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443


Maria Alice Cabral de Góes
Chefe do Depto de Química Analítica

Maria Alice Cabral de Góes
Chefe do Departamento de
Química Analítica
PO 189/93



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0288/99

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 9910 037

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 08/11/99

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)
	Fe %
PESM1	30,5
MISM1	3,3
LEVM1	2,0
HS-150	3,2

MÉTODOS UTILIZADOS:

Volumetria no titroprocessor com decromato de potássio

OBS:

Nilza Maria Miranda de Oliveira
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goês
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0288/2000

CLIENTE: IVAN FALCAO

LOTE: 20 06 030

PROJETO: APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
 DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 9805101M/15

DATA DE EMISSÃO: 07/08/2000

	Espécie(s)									
	Fe	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
EC 1 Over	3.51	2.5	5.6	10.5	48.7	0.25	4.5	12.8	0.46	5.02
EC 1 Under	4.97	2.1	5.2	10.3	40.8	0.33	3.7	14.2	-	7.1
EC 2 Over	3.5	2.3	6.1	10.4	52.0	0.26	4.2	14.1	0.47	5.01
EC 2 Under	4.52	1.9	7.4	10.4	42.6	0.27	3.2	13.9	-	6.46

MÉTODOS UTILIZADOS:
 Fluorescência de Raio X

OBS.:

- (1) S, Ni, Cr, Cu, Sr e Cs
- (2) S, Cr, Mn, Ni, Cu, Sr, Zr, Ba e Ce
- (3) S, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Sr, Ba e Bi
- (4) S, Cr, Mn, Ni, Cu, Sr, Zr, La e Ce

Niza Maria Miranda
 Resp. Técnico
 CRO N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
 Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0304/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO
PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 20 07 008

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

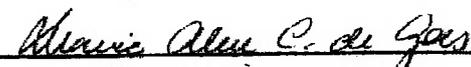
DATA DE EMISSÃO: 05/09/2000

	Espécie(s)									
	TiO ₂	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
HS - 150 #	0,64	2,0	7,0	9,9	46,4	0,26	3,4	13,7	0,14	7,6

MÉTODOS UTILIZADOS:
Fluorescência de Raio X

Obs.:
Elementos traços
S, Cr, Ni, Cu, Sr, Zr, Ba e La


Milza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443


Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica
Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Departamento de
Química Analítica
P. 189/98

Determinación de Fe

Proyecto 98051 DTM / TS
Lote 2007008

m,
1379

$$\% \text{ p/p} = \frac{\text{mg/L} \times 25}{1000 \times m}$$

masas 1379 A - 0,2521
B - 0,2547

> 250 ml

% p/p Fe = 5,06%
4,81%

> 4,9% p/p

Maria Ines Couto Monteiro

De: Maria Ines Couto Monteiro
Enviado em: Quarta-feira, 26 de Julho de 2000 16:46
Para: Ivan Falcao
Cc: Nilza Miranda
Assunto: resultado de análise de Fe
Prioridade: Alta

Prezado Ivan

Estou lhe enviando os resultados parciais de sua solicitação:

Projeto 98051 DTM/TS

Lote 20 07 008

Amostra Fe (%p/p)

HS-150# 4,9

Lote 20 07 014

Amostra Fe (%p/p)

1 0,99

2 3,2

3 5,1

4 6,8

5 3,4

6 3,3

7 5,1

8 6,7

9 3,6

10 1,1

+ Espectrometria de Absorção Atômica



CNPq

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DEPT^o DE QUÍMICA ANALÍTICARev. 0
Jan/98

1/1

CERTIFICADO DE ANÁLISESN^o 0305/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 20 07 014

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO

DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 05/09/2000

Espécie(s)

	MnO	Fe ^(a)	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	ZrO
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CNMINT (1)	-	0,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CMOSLEY 4 (2)	-	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CMOSLEY 5 (3)	-	5,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R MOSLEY 4 (4)	-	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R MOSLEY 5 (5)	-	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C MOSLEY 4 (6)	0,14	3,3	2,0	6,8	9,9	47,1	0,26	3,0	11,9	0,58	-
C MOSLEY 5 (7)	0,15	5,1	1,9	7,7	9,3	48,0	0,34	3,1	12,9	0,74	-
R MOSLEY 4 (8)	0,20	6,7	1,7	9,0	8,2	41,1	0,44	4,0	15,3	1,0	0,11
R MOSLEY 5 (9)	-	3,6	2,2	5,8	10,6	49,3	0,2	5,6	12,6	0,43	-
CNMINT (10)	-	1,1	2,2	6,2	10,5	50,0	0,20	3,7	12,5	0,38	-

MÉTODOS UTILIZADOS:

-Fluorescência de Raio X

a) Espectrometria de Absorção Atômica

OBS.:

Elementos traços

6) Cr, Ni, Cu, Sr, Zr, Ba e Pr

7) Cu, Zn, Sr, Zr, e Ba

8) S, Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, La e Hf

9) Cr, Ni, Cu, Sr, Zr, Ba

10) S, Cl, Cr, Mn, Ni, Cu, Sr, Zr e Ba

Nilza Maria Miranda

Resp. Técnico

CRQ N^o 031115443Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Departamento de
Química Analítica
05/09/00



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0317/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO
PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 20 09 010

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 20/09/2000

Espécie(s)

	Fe
	%
AM: SMBR/CALB	0,78
IMA: CONC(ELUT)	2,2
IMA: REJ(ELUT)	8,5

MÉTODOS UTILIZADOS:

- a) Espectrometria de Absorção Atômica com chama

OBS.:

Niza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0322/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 20 09 024

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 03/10/2000

Espécie(s)

	Fe	Fe ₂ O ₃
	%	%
Mag.TB	51,9	64,9
ÑMAG TB	7,3	10,4
T 1 ÑMAG	2,7	3,9
T 1MT	10,6	15,2

MÉTODOS UTILIZADOS:

a) Espectrometria de Absorção Atômica com chama

OBS.:

Níza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



CNPq

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DEPT^o DE QUÍMICA ANALÍTICA

Rev.: 0
Jan/98

1/1

CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0329/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 20 09 025

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 17/10/2000

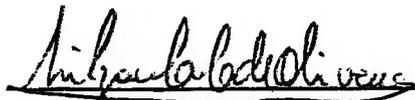
Espécie(s)

	Fe
	%
+ 35	70,0
+ 48	48,4
+ 65	30,6
+ 100	17,1
+ 150	11,5
+ 200	9,1
+ 270	9,1
+ 325	8,2
+ 400	8,1
- 400	7,5

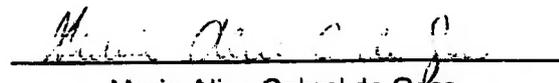
MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica com chama

OBS.:


~~Milza Maria Miranda~~

Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443


Maria Alice Cabral de Góes
Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0345/2000

CLIENTE: IVAN FALCÃO

LOTE: 20 10-037

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 06/11/2000

Espécie(s)

	Fe %
Fração 1	18,6
Fração 2	14,7
Fração 3	11,3
Fração 4	9,2
Fração 5	9,1

MÉTODOS UTILIZADOS:

a) Espectrometria de Absorção Atômica com chama

OBS.:

Nilza Maria Miranda

Resp. Técnico

CRQ N^o 031115443

Maria Alice Cabral de Goes

Chefe do Depto de Química Analítica

Metodologia de Análises
Chefe do Departamento de
Química Analítica
PO 135/02



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0346/2000

CLIENTE: IVAN-FALCÃO

LOTE: 20 10 032

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 06/11/2000

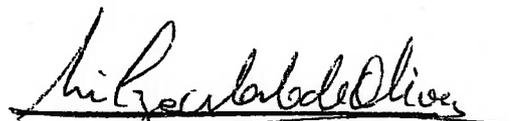
Espécie(s)

	Fe
	%
E1	3,2
E2	7,3
E3	7,0
E4	7,4
E5	3,6

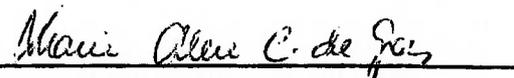
MÉTODOS UTILIZADOS:

a) Espectrometria de Absorção Atômica com chama

OBS.:



Nilza Maria Miranda
Resp. Técnico
CRQ N^o 031115443



Maria Alice Cabral de Góes
Chefe do Depto de Química Analítica
Centro de Tecnologia Mineral
Química Analítica
11/06/2000



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0462/2000

CLIENTE: IVAN FALCAO
PROJETO: APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

LOTE: 20 12012

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 14/12/2000

Identificação Da Amostra	Especie(s)
	Fe
	%
E 6 underflow	6,9
E 6 Overflow	6,0
E 8 Underflow	7,3
E 8 Overflow	6,1
E 5 Overflow	6,1
E 5 Underflow	7,0
E 9 Overflow	6,3
E 9 Underflow	7,4
E 7 Overflow	6,3
E 7 Underflow	7,2

MÉTODOS UTILIZADOS:

Espectrometria de Absorção Atômica com Chama

OBS.:



~~Nilza Maria Miranda~~

Resp Técnico

CRQ N^o 031115443



Maria Alice Cabral de Goês

Chefe do Depto de Química Analítica



CERTIFICADO DE ANÁLISES

N^o 0378/98

CLIENTE: IVAN

LOTE: 9809 022

PROJETO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO BENEF. DE GRANITO
DTM/CETEM

IDENTIFICAÇÃO NO DQA: 98051DTM/TS

DATA DE EMISSÃO: 29/10/98

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Espécie(s)								
	SiO ₂ ^a %	Al ₂ O ₃ ^b %	Fe ₂ O ₃ ^c %	TiO ₂ ^d %	MgO ^d %	Na ₂ O ^c %	K ₂ O ^c %	P.F. %	CaO ^d %
LAMA	35,8	6,92	5,97	0,48	5,85	1,23	3,46	14,21	12,4

MÉTODO(S) UTILIZADO(S):

- a - Gravimetria
- b- Titulação Potenciométrica
- c- Absorção Atômica
- d- Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma
- PF - Perda ao Fogo

OBS:

Maurílio F. Menezes
Resp. Técnico
CRQ 03111024

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Departamento de
Química Analítica
PO 189/98

Maria Alice Cabral de Goes
Chefe do Depto de Química Analítica



**ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Telex: (021) 34333 ABNT - BR
Endereço Telegráfico:
NORMATÉCNICA

Copyright © 1990,
ABNT-Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

OUT 1992

NBR 12763

Rochas para revestimento - Determinação da resistência à flexão

Método de ensaio

Origem: Projeto 02:002.45-003/91
CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:002.45 - Comissão de Estudo de Revestimento de Pedras
NBR 12763 - Rocks for covering - Determination of flexural strength - Method of test
Descriptors: Rock, Covering
Válida a partir de 29.12.92

Palavras-chave: Rocha, Revestimento

3 páginas

1 Objetivo

Esta Norma prescreve o método para determinação da tensão de ruptura à tração na flexão de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações.

2 Aparelhagem

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a que se segue:

- a) prensa com capacidade de no mínimo 1000 kN e resolução igual ou inferior a 2 kN; deve dispor de um prato inferior rígido e um prato superior suspenso na cabeça da prensa e munido de rótula, de modo a permitir pleno contato com o topo do corpo-de-prova; deve dispor, ainda, de sistema de aplicação de carga que permita um carregamento progressivo e contínuo.
- b) dispositivo para ensaio dos corpos-de-prova, conforme Figura, constituído por dois cutelos articulados, um móvel e o outro fixo (que se assentam sobre o prato inferior da prensa) e de um cutelo superior, móvel (que se fixa no prato superior da prensa); o comprimento de cada cutelo deve ser no mínimo igual à largura do corpo-de-prova;
- c) equipamento para corte de rochas constituído de disco diamantado capaz de cortar superfícies tão planas quanto possível;

- d) paquímetro com curso de 200 mm e divisões de 0,05 mm para medição dos corpos-de-prova;
- e) bandejas de alumínio, ou outro material não oxidável, com dimensões de 40 cm x 20 cm x 10 cm para saturação dos corpos-de-prova em água, quando isto for desejável;
- f) estufa com temperatura de $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, de preferência ventilada, para secagem dos corpos-de-prova.

3 Execução do ensaio

3.1 Amostragem

3.1.1 Colher amostras representativas da jazida, ou do afloramento rochoso, em quantidades tais que representem todas as características da rocha.

3.1.2 Assegurar volume suficiente para permitir a obtenção de tantos corpos-de-prova quantos sejam necessários para representar a variabilidade dos valores de tensão de ruptura.

3.2 Preparação dos corpos-de-prova

3.2.1 Preparar os corpos-de-prova com formato prismático retangular com dimensões de aproximadamente 20 cm x 10 cm x 5 cm.

3.2.2 Garantir superfícies planas e faces opostas paralelas.

3.3.1 Assentar o corpo-de-prova sobre os cutelos inferiores, nas posições correspondentes às linhas demarcadas a 9 cm da linha média (vão de ensaio aproximadamente 18 cm).

3.3.2 Assentar o cutelo superior na posição correspondente à linha média traçada no corpo-de-prova, aplicando-se pequena carga inicial para obter a estabilização do sistema corpo-de-prova/cutelos/prensa.

3.3.3 Efetuar o carregamento de modo lento e progressivo, a uma taxa de aproximadamente 4.450 N/min, até que ocorra a ruptura do corpo-de-prova.

3.4 Cálculos

Calcular a tensão de ruptura da rocha por tração na flexão (σ_f) pela seguinte expressão:

$$\sigma_f = 3/2 PL/bd^2$$

Onde:

P = força de ruptura, em N

L = distância entre as duas linhas extremas traçadas no corpo-de-prova, em cm ou m

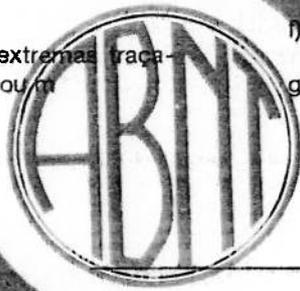
b = largura do corpo-de-prova, em cm ou m

d = altura do corpo-de-prova, em cm ou m

4 Resultados

O documento técnico resultante da realização do ensaio deve conter:

- a) tipo petrográfico e nome comercial do material ou designação da amostra;
- b) discriminação pormenorizada da procedência da amostra (região, cidade, jazida e local de coleta, etc.);
- c) número de corpos-de-prova ensaiados; dimensões e tensão de ruptura de cada um;
- d) condições de ensaio dos corpos-de-prova:
 - seca e/ou saturada;
 - paralela ou perpendicular às estruturas;
- e) data da coleta da amostra;
- f) data da realização do ensaio;
- g) identificação desta Norma.



BIBLIOTECA
NUTE C



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

NBR 9778 - ARGAMASSA E CONCRETO
ENDURECIDOS — DETERMINAÇÃO DA
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO —
ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA
ESPECÍFICA

FORUM NACIONAL DE NORMALIZAÇÃO



ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDOS - DETERMINAÇÃO
DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO - ÍNDICE DE VAZIOS
E MASSA ESPECÍFICA

18.923
NBR 9778
MAR/1987

Método de ensaio

SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Normas complementares
- 3 Definições
- 4 Aparelhagem
- 5 Amostras ou corpo de prova para ensaio
- 6 Execução do ensaio
- 7 Resultados
- 8 Relatário

1 OBJETIVO

Esta Norma prescreve o modo pelo qual deve ser executado o ensaio para determinação da absorção de água, através de imersão, do índice de vazios e massa específica de argamassa e concreto endurecidos.

2 NORMAS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos de prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos - Método de ensaio

NBR 7215 - Ensaio de cimento Portland - Método de ensaio

3 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições 3.1 a 3.3.

3.1 Absorção de água por imersão

Definida pela seguinte expressão:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \times 100$$

Origem: ABNT - 18:04.07-002/85

CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados

CE-18:04.07 - Comissão de Estudo de Determinação da Permeabilidade do Concreto

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS

©

Palavras-chave: argamassa, concreto.

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

Onde:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado

M_s = massa do corpo de prova seco em estufa

3.2 Índices de vazios

3.2.1 Relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total, sendo calculado pela expressão seguinte:

$$\frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100$$

Onde:

M_i = massa do corpo de prova saturado, imerso em água.

3.2.2 A saturação do corpo de prova pode ser feita numa das condições a seguir, em função da especificação:

- Imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$;
- Imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, seguida de permanência em água em ebulição durante 5 h.

Nota: Na falta de menção específica, adotar a condição b).

3.3 Massa específica

3.3.1 Massa específica da amostra seca

Definida pela seguinte expressão:

$$\frac{M_s}{M_{sat} - M_i}$$

3.3.2 Massa específica da amostra saturada

Definida pela seguinte expressão:

$$\frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i}$$

Nota: A saturação da amostra ou corpo de prova, com a finalidade de se obter as massas saturadas dos mesmos (M_{sat}), pode ser feita numa das condições a seguir, em função da especificação preconizada:

- Imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ (imersão);
- imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, seguida de permanência em água em ebulição durante 5 h (imersão e fervura).

4 APARELHAGEM

4.1 Balança hidrostática

Uma balança sensível a 0,025% da massa das amostras.

4.2 Recipientes

Um recipiente adequado para imersão e fervura das amostras.

4.3 Estufa

Com dimensões internas apropriadas para armazenar as amostras de argamassas e de concreto à temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.

5 AMOSTRAS OU CORPO DE PROVA PARA ENSAIO

5.1 As amostras podem ser obtidas em argamassa moldadas de acordo com NBR 7215 ou nos concretos de acordo com NBR 5738, ou obtidas a partir de testemunhos, ex traídos ou pedaços de argamassa ou concreto.

5.2 Para análise de composições de argamassa ou concretos, o ensaio deve ser constituído em três amostras.

5.3 Para o exame de artefatos ou peças endurecidas, o ensaio deve ser constituído de três amostras, obtidas de testemunhos extraídos, devendo apresentar cada uma delas, no mínimo 200 cm^3 , no caso de argamassas; 2500 cm^3 no caso de concretos preparados com agregados de até 50 mm de dimensão máxima; e 10000 cm^3 no caso de concretos preparados com agregado de dimensão máxima superior a 50 mm.

5.4 Os corpos de prova moldados devem estar isentos de óleo ou outros materiais aderidos na moldagem.

6 EXECUÇÃO DO ENSAIO

6.1 Secagem em estufa à temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$

6.1.1 Determinar a massa da amostra ao ar e mantê-la em estufa à temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Determinar a massa da amostra após permanência na estufa de 24 h, 48 h e 72 h.

6.1.2 Resfriar a amostra ao ar seco à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, de preferência em dessecador, e determinar a massa.

6.1.3 Para referência, registrar a massa da amostra após 72 h de permanência na estufa, e informar complementarmente as medidas intermediárias das massas.

6.1.4 Em casos especiais, e mediante solicitação expressa, a amostra pode permanecer na estufa até que duas pesagens sucessivas, intervaladas de 24 h, não difiram de mais de 0,5% da menor massa.

6.2 Saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$

6.2.1 Completada a secagem em estufa, e determinada a massa, proceder à imersão da amostra em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, durante 72 h, conforme descrito em 6.2.2.

6.2.2 A amostra deve ser mantida com 1/3 de seu volume imerso nas 4 primeiras horas, 2/3 nas quatro horas subsequentes, e deve ser completamente imerso nas 64 horas restantes.

6.2.3 Determinar a massa decorridas 24 h, 48 h e 72 h de imersão. As determinações devem ser efetuadas após enxugar-se a superfície da amostra com toalha absorvente.

6.2.4 Para referência, registrar a massa da amostra após 72 h de imersão em água, e informar complementarmente as medidas intermediárias das massas.

6.2.5 Em casos especiais, e mediante solicitação expressa, pode a amostra em intervalos de 24 h, permanecer imersa em água até que duas pesagens sucessivas, efetuadas, não difiram de mais de 0,5% da menor massa.

6.3 *Massa da amostra saturada após fervura*

6.3.1 Completar a etapa de saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, e colocar a amostra num recipiente cheio d'água, que deve ser progressivamente levado à ebulição, a qual deve começar depois de 15 min e antes de 30 min. A ação da água quente deve durar 5 h.

6.3.2 Deixar, a seguir, a água resfriar, pela perda natural de calor, por não menos que 14 horas, até a temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. A seguir retirar a amostra da água, enxugando-a e pesando-a.

6.4 *Massa da amostra imersa em água*

Após completar a saturação, sem ou com fervura, proceder a pesagem em balança hidrostática, anotando a massa da amostra imersa em água.

7 RESULTADOS

Usando as massas determinadas de acordo com os procedimentos do capítulo 6, fazer os seguintes cálculos através da média de três amostras de ensaio:

- absorção após imersão em água à temperatura de: $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, em porcentagem = $[(B - A)/A] \times 100$;
- absorção após imersão e fervura, em porcentagem = $[(C - A)/A] \times 100$;
- Índice de vazios após saturação em água, em porcentagem = $[(B - A)/(B - D)] \times 100$;
- Índice de vazios após saturação e fervura, em porcentagem = $[(C - A)/(C - E)] \times 100$;
- massa específica da amostra seca = $[A/(C - D)]$;
- massa específica da amostra após saturação = $[B/(C - D)]$;
- massa específica da amostra após saturação e fervura = $[C/(C - D)]$;
- massa específica real = $[A/(A - D)]$.

nde:

A = massa, em gramas, da amostra seca em estufa;

- B = massa, em gramas, da amostra saturada em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ com superfície seca;
- C = massa, em gramas, da amostra com superfície seca, após saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, e fervura em água em ebulição durante 5 h;
- D = massa, em gramas, da amostra, após saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$;
- E = massa, em gramas, da amostra após saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, e fervura em água em ebulição durante 5 h.

8 RELATÓRIO

O relatório deve incluir o seguinte:

- a) identificação da amostra;
 - b) tipo de corpo de prova (moldado ou extraído);
 - c) forma e dimensões do corpo de prova;
 - d) idade do concreto ensaiado;
 - e) método de cura até a ocasião do ensaio;
 - f) indicação de eventuais anomalias;
 - g) os valores das massas intermediárias;
 - h) os resultados obtidos no capítulo 7.
-



**ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Telex: (021) 34333 ABNT - BR
Endereço Telegráfico:
NORMATECNICA

Copyright © 1990,
ABNT-Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

OUT 1992

NBR 12767

Rochas para revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial

Método de ensaio

Origem: Projeto 02:002.45-007/91
CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:002:45 - Comissão de Estudo de Revestimento de Pedras
NBR 12767 - Rocks for covering - Determination of uniaxial compression resistance
Descriptors: Rock. Covering
Válida a partir de 29.12.92

Palavras-chave: Rocha. Revestimento

2 páginas

1 Objetivo

Esta Norma prescreve o método para determinação de resistência à compressão uniaxial de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações.

2 Aparelhagem

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a que se segue:

- pressa com capacidade de no mínimo 1000 KN e divisões de 2 KN, deve dispor de um prato inferior rígido e outro oposto a ele, suspenso na cabeça da prensa e munido de roleta para permitir pleno contato com o topo do corpo-de-prova; deve dispor, ainda, de sistema de aplicação de carga que permita um carregamento contínuo e progressivo;
- equipamento para corte de rocha constituído de disco diamantado, capaz de cortar superfícies tão planas quanto possível;
- paquímetro, com curso de 200 mm e divisões de 0,05 mm para medição dos corpos-de-prova;
- bandeiras de alumínio ou outro material não oxidável, com dimensões de 40 cm x 20 cm x 10 cm para saturação dos corpos-de-prova em água, quando isto for desejável;
- estufa com temperatura de $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, de preferência ventilada, para secagem dos corpos-de-prova;

- torno mecânico munido de rebolo diamantado para retificação dos corpos-de-prova.

3 Execução do ensaio

3.1 Amostragem

3.1.1 Colher amostras representativas da jazida, ou do afloramento rochoso, em quantidades tais que representem todas as características da rocha.

3.1.2 Assegurar volume suficiente para permitir a obtenção de tantos corpos-de-prova quantos sejam necessários para representar a variabilidade dos valores de tensão de ruptura.

3.2 Preparação dos corpos-de-prova

3.2.1 Preparar os corpos-de-prova com formato cúbico, com dimensões das arestas entre 7,0 cm e 7,5 cm, ou cilíndrico, com diâmetro entre 7,0 cm e 7,5 cm, e com relação de dimensões entre base e altura de 1:1.

3.2.2 Garantir, no caso de corpos-de-prova cúbicos, que os ângulos formados entre as duas faces consecutivas sejam de $(90 \pm 3)^\circ$. Garantir o mesmo quanto ao ângulo entre as bases e a geratriz dos corpos-de-prova cilíndricos.

3.2.3 Retificar as bases dos corpos-de-prova no torno mecânico de modo que as irregularidades não ultrapassem a $(2 \pm 0,01)$ mm.

3.2.4 Se a rocha for estruturada, preparar seis corpos-de-prova, sendo três para ensaio na direção paralela e três para ensaio na direção perpendicular às estruturas; assinalar as faces que representem as bases, no caso dos corpos-de-prova cúbicos.

3.2.5 Para o caso de ensaios nas condições seca e saturada, preparar, também, três corpos-de-prova para cada condição.

3.2.6 Adotar as dimensões das bases dos corpos-de-prova como sendo a média aritmética de três medidas tomadas em posições diferentes e perpendiculares ao eixo dos corpos-de-prova.

3.3 Ensaio

Para a execução do ensaio adotam-se os procedimentos indicados de 3.3.1 a 3.3.4.

3.3.1 Colocar o corpo-de-prova no centro do prato inferior da prensa.

3.3.2 Movimentar o prato superior da prensa até obter ajuste dos pratos da prensa com o corpo-de-prova.

3.3.3 Aplicar cargas, de modo contínuo e progressivo, a uma taxa de aproximadamente 0,6 MPa/s até que ocorra a ruptura do corpo-de-prova.

3.3.4 Anotar a força de ruptura máxima registrada no ensaio.

3.4 Cálculos

Calcular a tensão de ruptura da rocha por compressão uniaxial (σ_c) pela seguinte expressão:

$$\sigma_c = P/A$$

Onde:

P = força máxima de ruptura, em KN

A = área da base do corpo-de-prova, em cm² ou m²

4 Resultados

O documento técnico resultante da realização do ensaio deve conter:

- a) tipo petrográfico e nome comercial do material ou designação da amostra;
- b) discriminação pormenorizada da procedência da amostra (região, cidade, jazida e local de coleta, etc.);
- c) número de corpos-de-prova ensaiados, dimensões e valores de tensão de ruptura de cada um, em MPa;
- d) condições de ensaio:
 - i) - seca e/ou saturada;
 - ii) - paralela ou perpendicular às estruturas;
 - e) data da coleta da amostra;
 - f) data da realização do ensaio;
 - g) identificação desta Norma.



ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Telex: (021) 34333 ABNT - BR
Endereço Telegráfico:
NORMATÉCNICA

Copyright © 1990,
ABNT-Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

OUT 1992

NBR 12766

Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente

Método de ensaio

Origem: Projeto 02:002.45-006/91
CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:002:45 - Comissão de Estudo de Revestimento de Pedras
NBR 12766 - Rocks for covering - Determination of apparent specific density,
apparent porosity and apparent absorption of water - Method of test
Descriptors: Rock. Covering
Válida a partir de 29.12.92

Palavras-chave: Rocha. Revestimento

2 páginas

1 Objetivo

Esta Norma prescreve o método para determinação da massa específica aparente (seca e saturada com superfície seca), porosidade e absorção d'água aparentes de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações.

2 Aparelhagem

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a que se segue:

- estufa, de preferência ventilada, capaz de manter a temperatura em $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- balança, com capacidade de 1000 g e resolução de 0,01 g, capaz de permitir pesagens hidrostáticas;
- bandejas de alumínio ou de outro material não-oxidável, com dimensões de 40 cm x 20 cm x 10 cm;
- bomba de vácuo de 100 kPa;
- recipiente de dimensões convencionais para acondicionamento de água para pesagem dos corpos-de-prova na condição submersa.

3 Execução do ensaio

3.1 Amostragem e preparação dos corpos-de-prova

3.1.1 Colher amostras representativas da jazida ou do

aforamento rochoso, em quantidades tais que representem todas as características da rocha.

3.1.2 Assegurar volume suficiente para permitir a preparação de dez corpos-de-prova para cada amostra. Os corpos-de-prova, que podem ter qualquer formato, devem ser preparados por quebra manual da amostra e devem possuir diâmetro em torno de 7 cm ou massa ao redor de 250 g cada.

3.2 Ensaio

Para a execução do ensaio adotam-se os procedimentos indicados em 3.2.1 a 3.2.7

3.2.1 Lavar os corpos-de-prova em água corrente.

3.2.2 Colocar os corpos-de-prova em estufa e deixar secar por 24 h.

3.2.3 Retirar os corpos-de-prova da estufa e deixar resfriar à temperatura ambiente.

3.2.4 Pesar os corpos-de-prova individualmente ao ar, com precisão de 0,01 g; anotar massa "A".

3.2.5 Colocar os corpos-de-prova na bandeja e adicionar água até 1/3 de sua altura. Após 4 h adicionar água até 2/3 da altura dos corpos-de-prova, após 4 h completar a submersão dos corpos-de-prova e deixar completar o tempo total de 24 h, ou proceder à saturação com auxílio da bomba de vácuo por 3 h.

3.2.6 Retirar os corpos-de-prova da água, enxugar suas superfícies com um pano absorvente e pesar ao ar; anotar massa "B".

3.2.7 Pesar os corpos-de-prova individualmente, na condição submersa, utilizando-se o dispositivo da balança para pesagem hidrostática, amarrando-se o corpo-de-prova com fio de massa desprezível; anotar massa "C".

3.3 Cálculos

Proceder aos cálculos de acordo com as seguintes expressões:

a) massa específica aparente seca:

$$\rho_{a_{sec}} = A / (B - C) \text{ (kg/m}^3\text{);}$$

b) massa específica aparente saturada:

$$\rho_{a_{sat}} = B / (B - C) \text{ (kg/m}^3\text{);}$$

c) porosidade aparente:

$$\eta_a = B - A / (B - C) \times 100;$$

d) absorção d'água aparente:

$$\alpha_a = (B - A) / A \times 100.$$

4 Resultados

O documento técnico resultante da realização do ensaio deve conter:

- a) tipo petrográfico e nome comercial do material ou designação da amostra;
- b) discriminação pormenorizada da procedência da amostra (região, cidade, jazida e local da coleta, etc.);
- c) massa dos corpos-de-prova, resultados individuais e média aritmética dos valores calculados de acordo com 3.3;
- d) data da coleta da amostra;
- e) data da realização do ensaio;
- f) identificação desta Norma.





**ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Telex: (021) 34333 ABNT - BR
Endereço Telegráfico:
NORMATECNICA

Copyright © 1990,
ABNT-Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

JUL 1994

NBR 5739

Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos

BIBLIOTECA
NUTEC

Método de ensaio

Origem: Projeto NBR 5739/1993
CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento e Agregados
CE-18:301.02 - Comissão de Estudos e Ensaios Mecânicos para
Concreto
NBR 5739 - Concrete - Compression test of cylindrical specimens - Method of test
Descriptor: Concrete
Esta Norma substitui a NBR 5739
Válida a partir de 29.08.1994

Palavra-chave: Compressão

4 páginas

1 Objetivo

Esta Norma prescreve o método de ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a NBR 7680, e ensaiados conforme a NBR 7680.

2 Documentos complementares

Na aplicação desta Norma devem ser consultados:

NBR 5738 - Ensaio de tração e compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto - Método de ensaio

NBR 6156 - Ensaio de tração e compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto - Método de ensaio

NBR 7680 - Ensaio de tração e compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto - Procedimento de preparo, ensaio e análise de resultados

NBR 7681 - Câmaras úmidas para cura de corpos-de-prova de cimento e concreto - Especificação

3 Terminologia

A preparação necessária à execução do ensaio é a descrita em 3.1 a 3.3.

3.1 Equipamento para compressão

A máquina de ensaio de compressão dos corpos-de-

prova pode ser da classe I, II ou III, conforme a NBR 6156, e deve atender aos requisitos de 3.1.1 a 3.1.4.

3.1.1 A estrutura de aplicação da carga deve ter capacidade compatível com os ensaios a serem realizados, permitindo a aplicação controlada de carga sobre o corpo-de-prova colocado entre os pratos de compressão. O prato que se desloca deve ter movimento na direção vertical, mantendo paralelismo com o eixo vertical da máquina.

Nota: O corpo-de-prova cilíndrico deve ser posicionado de modo que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro.

3.1.2 O acionamento deve ser através de qualquer fonte estável de energia, de modo a propiciar uma aplicação de carga contínua e isenta de choques.

Nota: Somente para máquinas da classe III, definidas na NBR 6156, devem ser tolerados acionamento manual e leve intermitência na aplicação de carga.

3.1.3 A taxa de aplicação da carga, fixa ou ajustável ao longo do ensaio, deve atender ao prescrito em 4.8. Devem ser previstos meios para a obtenção de taxas menores, compatíveis com os métodos utilizados para a verificação das escalas de força.

3.1.4 A máquina deve permitir o ajuste da distância entre os pratos de compressão antes do ensaio com deslocamentos que superem a altura do corpo-de-prova em, no mínimo, 5 mm. O ajuste pode ser feito através de um mecanismo da máquina, independente do sistema de aplicação de carga.

a distância entre os pratos de compressão visa a introdução e o alinhamento do corpo-de-prova nos pratos, devendo o curso útil do equipamento ser, a partir desse ponto, todo o ensaio se desenvolva nos seguintes limites.

3.2.1 Escala de forças

3.2.1 O mecanismo de medição das forças pode ser analógico ou digital. O instrumento deve ser previsto um meio de indicação da carga atingida (por exemplo, através de ponteiro, mostrador, etc.), que pode ser lida após a conclusão do ensaio. As características de exatidão do instrumento devem ser idênticas às da indicação da carga.

3.2.2 No caso de medição analógica, a escala deve ser graduada de forma que a menor fração estimável da divisão da escala seja equivalente a uma carga de ensaio (P) para a qual a deformação não exceda os valores da Tabela 1.

Tabela 1 - Relação entre a mínima carga estimada na escala e a carga de ensaio em máquinas de compressão

Classe (NBR 6156)	$\frac{P}{F}$ (%)
I	0,5
II	1,0
III	1,5

Nota: A fração da divisão de escala capaz de ser estimada, tomada como a relação entre a largura do ponteiro na sua extremidade e a menor divisão da escala, deve ficar limitada a 1/4 da divisão.

3.2.3 No caso de medição digital, o valor de cada incremento do indicador não deve ser superior a menor fração estimável da divisão estipulada para o caso de medições analógicas.

3.3 Pratos de compressão

3.3.1 Geral

3.3.1.1 A máquina deve ser equipada com dois pratos de aço, cujas superfícies de contato com o corpo-de-prova tenham sua menor dimensão em 4% superior ao maior diâmetro do corpo-de-prova que deve ser ensaiado.

3.3.1.2 As superfícies de contato dos pratos de compressão devem apresentar desvio máximo de planicidade de 0,05 mm para cada 150 mm de diâmetro dos pratos. Para pratos com diâmetro menor, o desvio máximo de planicidade deve ser de 0,05 mm.

Nota: Os pratos de compressão devem ser fabricados com a metade dessa tolerância. A dureza superficial destes deve ser de, no mínimo, 55 ± RC. (55 Rockwell C).

3.3.2 Prato inferior de compressão

3.3.2.1 Deve ter formato circular, devendo ser removível,

a fim de permitir a manutenção das condições de superfície especificadas em 3.3.1.2.

3.3.2.2 As suas superfícies superior e inferior devem ser paralelas entre si, não devendo apresentar espessura menor que 10 mm ou de 10% do maior diâmetro do corpo-de-prova que deve ser ensaiado. Após repetidas operações de condicionamento da superfície, deve ser tolerada espessura de, no mínimo, 90% destes valores.

3.3.2.3 Quando apoiado ou fixado à máquina, o prato deve apresentar rigidez tal, que a máxima deformação a que deve ser submetido durante o ensaio não ultrapasse 25% da tolerância de planicidade especificada em 3.3.1.2.

3.3.2.4 Com a finalidade de auxiliar na centralização do corpo-de-prova, a face de carga do prato inferior deve apresentar um ou mais círculos concêntricos de referência gravados, com centro na intersecção dessa superfície com o eixo vertical da máquina. O diâmetro do círculo externo deve ser 4 mm superior ao do corpo-de-prova a ser ensaiado, devendo ainda apresentar profundidade não superior a 0,7 mm e largura não superior a 1,0 mm.

3.3.2.5 De modo a atender o disposto em 3.1.4, deve ser permitida a utilização de calços metálicos posicionados centralmente sobre o prato inferior da máquina. Estes calços devem obedecer aos mesmos critérios estabelecidos para o prato inferior.

3.3.2.6 A face de carga do prato inferior deve ser perfeitamente perpendicular ao eixo vertical da máquina e permanecer nessa condição durante todo o ensaio.

3.3.3 Conjunto de compressão

3.3.3.1 O conjunto deve ser provido de articulação tipo rótula. O raio da rótula deve estar compreendido entre 1/2 e 1/3 do diâmetro do corpo-de-prova que deve ser ensaiado.

3.3.3.2 O centro da articulação deve estar situado na intersecção do eixo vertical da máquina com a superfície de contato do prato de compressão. O afastamento máximo permitido entre as superfícies de condicionamento do prato deve ser de 0,05 mm.

3.3.3.3 Se o raio da esfera da articulação for maior que o do corpo-de-prova, a porção do prato de compressão em contato com o assentamento esférico deve ter uma espessura mínima à diferença entre os raios da esfera e do corpo-de-prova.

3.3.3.4 As peças macho e fêmea do conjunto de articulação da rótula devem ser fabricadas de modo que as superfícies em contato não sofram desgaste excessivo após repetidos usos, até a capacidade de carga especificada para o equipamento.

3.3.3.5 O conjunto deve permitir movimentação angular mínima de 4° em qualquer direção, quando submetido a uma carga inicial de acomodação de 0,1% da carga estimada de ruptura.

3.3.3.6 Após a aplicação de uma pequena carga inicial de

acomodação, o prato não deve mais movimentar-se em sentido algum durante todo o transcorrer do ensaio; para isso, as superfícies do assentamento esférico da rótula devem ser mantidas limpas e lubrificadas apenas com uma fina camada de óleo lubrificante mineral comum, não sendo permitido o emprego de graxas ou lubrificantes que contenham aditivos para alta pressão de contato.

3.3.4 Verificação

A verificação da máquina de ensaio deve ser feita na frequência e nas condições prescritas pela NBR 6156, sendo aconselhável, entretanto, que a verificação ocorra a intervalos de seis meses, ou a cada 5000 aplicações de carga.

4 Execução do ensaio

4.1 Até a idade de ensaio, os corpos-de-prova devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturada, nas condições preconizadas, conforme o caso, pelas NBR 5738, NBR 7680 e NBR 9479.

Nota: A cura deve ser dita úmida quando a superfície do corpo-de-prova for mantida permanentemente úmida. A cura deve ser dita saturada quando o corpo-de-prova permanecer permanentemente imerso em água saturada e cal.

4.2 As faces de aplicação de carga dos corpos-de-prova (topos inferior e superior) devem ser rematadas de acordo com o prescrito pela NBR 5738, em se tratando de corpos-de-prova moldados, e pela NBR 7680, em se tratando de corpos-de-prova extraídos.

Notas: a) Os corpos-de-prova devem ser ensaiados nas mesmas condições de sazonalidade em que foram moldados, na câmara úmida. Assim sendo, o ensaio seja realizado, imediatamente após a remoção do corpo-de-prova de seu local de cura.

b) Em se tratando de corpos-de-prova moldados de um número elevado de corpos-de-prova, estes devem ser ensaiados num mesmo dia, após o capejamento antecipado de um corpo-de-prova, em seguida, para a realização do ensaio.

4.3 Nas condições de ensaio, o afastamento entre o eixo vertical do corpo-de-prova e o eixo do prato de apoio, medido em superfície plana, deve ser de, no máximo, 1% de seu diâmetro.

4.4 O diâmetro médio para o cálculo da área da seção transversal deve ser determinado, com exatidão de 0,05 mm, a partir da média de dois diâmetros, medidos ortogonalmnte, a uma distância de metade da altura do corpo-de-prova.

4.5 Os corpos-de-prova devem ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada, com as tolerâncias de tempo descritas na Tabela 2. Em se tratando de corpos-de-prova moldados de acordo com a NBR 5738, a idade deve ser contada a partir do momento em que o cimento e posto em contato com a água de mistura.

Tabela 2 - Tolerância de tempo para ensaio em compressão em função da idade de ruptura

Idade de ensaio	Tolerância de tempo
24 h	± 10%
3 d	± 10%
7 d	± 10%
28 d	± 10%
60 d	± 2,5%
90 d	± 2,2%

4.6 As faces de aplicação de carga e do corpo-de-prova devem ser mantidas limpas e lubrificadas apenas com uma fina camada de óleo lubrificante mineral comum. O corpo-de-prova deve ser curado em câmara úmida no prato inferior, com auxílio de um suporte centrado(s) de referência.

4.7 O corpo-de-prova escolhida para o ensaio deve ser tal que a carga de ruptura do corpo-de-prova deva se dar com uma carga aplicada no intervalo de 10% a 90% do fundo

4.8 A velocidade de ensaio deve ser aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s. Nenhum ajuste deve ser efetuado nos controles da máquina, quando o corpo-de-prova estiver se deformando rapidamente ao se aproximar de sua ruptura.

4.9 Em se tratando de máquinas providas de indicação de carga analógica, o carregamento só deve cessar, quando o recuo do ponteiro de carga for em torno de 10% do valor da carga máxima alcançada, que deve ser anotada como carga de ruptura do corpo-de-prova.

5 Resultados

5.1 Cálculo da resistência

5.1.1 A resistência à compressão deve ser obtida, dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, devendo o resultado ser expresso com aproximação de 0,1 MPa.

5.1.2 Em se tratando de corpos-de-prova extraídos, devem ser efetuadas as correções prescritas pela NBR 7680.

5.2 Apresentação dos resultados

5.2.1 O certificado de resultados de ensaio de corpos-de-prova moldados segundo a NBR 5738 deve conter as seguintes informações:

- número de identificação do corpo-de-prova;
- data de moldagem;
- idade do corpo-de-prova;
- data do ensaio;

resistência à compressão, expressa com aproximação de 0,1 MPa;

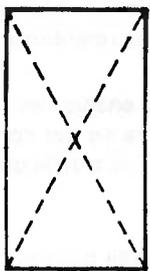
do corpo-de-prova (ver Figura).

Nota: - as seguintes informações adicionais fazem parte do relatório:

- resultado da verificação da máquina de ensaio;
- carga máxima aplicada em MN;
- área da seção transversal em m²;

- defeitos do corpo-de-prova e cabeamento;
- marca, tipo e classe do cimento;
- origem dos agregados;
- traço em massa do concreto;
- resistência característica (f_{ck}) do concreto.

5.2.2 A apresentação dos resultados de corpos-de-prova extraídos deve estar de acordo com o prescrito pela NBR 7680.



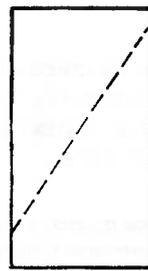
Cônica
(a)



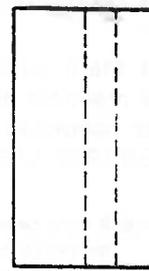
Cônica e bipartida
(b)



Cônica e diagonal
(c)



Cisalhada
(d)



Colunar
(e)

Figura - Esboço dos tipos de ruptura



**TIJOLO MACIÇO DE SOLO-CIMENTO – DETERMINAÇÃO DA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA ABSORÇÃO D'ÁGUA**

Método de ensaio

02.253
NBR 8492
ABR/1984

1 OBJETIVO

Esta Norma prescreve o método para determinação da resistência à compressão e da absorção de água de tijolos maciços de solo-cimento para alvenaria.

2 NORMA COMPLEMENTAR

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 8491 - Tijolo maciço de solo-cimento - Especificação

3 APARELHAGEM

3.1 Ensaio à compressão simples

3.1.1 Máquina de ensaio à compressão.

3.1.1.1 Esta pode ser de qualquer tipo, desde que possibilite a distribuição uniforme da carga e a aplicação dos esforços à peça ensaiada de modo progressivo e sem choque.

3.1.1.2 Deve possuir um dispositivo para o controle da velocidade de aplicação de carga.

3.1.1.3 Deve permitir a leitura das cargas aplicadas com uma sensibilidade de 100 N (10 kgf).

3.1.2 Tanque de imersão para submergir os corpos-de-prova em água na temperatura ambiente.

Origem: ABNT 2-02.11-052/83
CB-2 – Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-2.02.11 – Comissão de Estudo de Tijolos de Solo-Cimento

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS

Palavras-chave: tijolo.

NBR 8492 – NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

3.2 Ensaio de absorção de água

3.2.1 Balança de 10 kg de capacidade e sensibilidade de 1 g.

3.2.2 Estufa capaz de manter uma temperatura entre 105°C e 110°C.

3.2.3 Tanque de imersão para submergir os corpos-de-prova em água na temperatura ambiente.

4 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

4.1 Amostras

Devem ser representativas dos lotes estabelecidos na NBR 8491, num total de treze tijolos por lote. Cada tijolo deve ser marcado de maneira a ser identificado facilmente e medido. O valor médio de cada dimensão do tijolo é resultado da média de pelo menos três determinações executadas em pontos diferentes, com precisão de 1 mm.

4.2 Ensaio à compressão simples

4.2.1 De cada amostra devem ser preparados dez corpos-de-prova da seguinte maneira:

- cortar o tijolo ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão;
- superpor, por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas, de acordo com a Figura 1, ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento Portland, pré-contraída (repouso de aproximadamente 30 min), de (2 a 3) mm de espessura e aguardar o endurecimento da pasta;

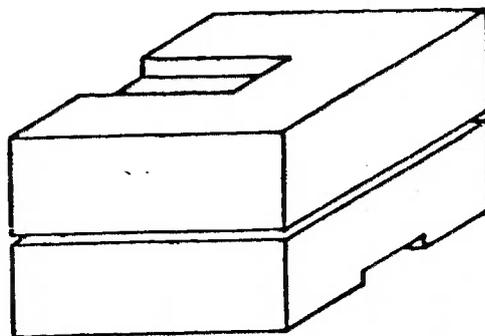
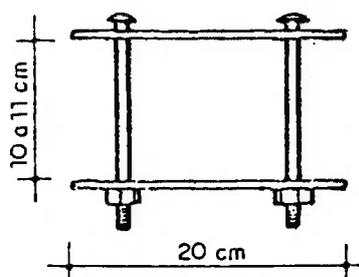
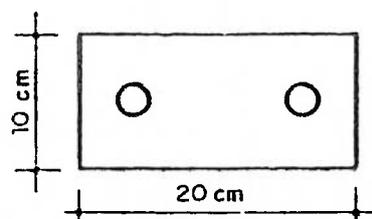


FIGURA 1

- c) quando o tijolo apresentar rebaixo, superpor suas duas metades de modo que as reentrâncias fiquem localizadas nas faces de trabalho do corpo-de-prova e encher as reentrâncias com pasta de cimento Portland, aguardando aproximadamente 24 h antes de proceder à etapa seguinte;
- d) colocar o corpo-de-prova obtido anteriormente em um sistema de guias (Figura 2) de modo que a superfície de trabalho fique de (2 a 3) mm abaixo dos bordos da guia. Cobrir esta superfície com uma camada de pasta de cimento pré-contraída, razando-se com uma régua metálica. Logo que a pasta começar a endurecer, retirar o corpo-de-prova do sistema de guias e com o auxílio de uma placa de vidro fazer movimentos circulares sobre a camada de pasta, com a finalidade de se dar um acabamento final à superfície e retirar o excesso de água que a pasta possa conter; esta operação é repetida até que a placa de vidro deslize facilmente sobre a pasta. Entre uma passada da placa de vidro e outra, deve-se limpá-la com um papel absorvente ou com um pano, para se ter um melhor acabamento. Em seguida, com uma espátula retirar as rebarbas existentes;
- e) após aproximadamente 24 h, passar à regularização da superfície de trabalho oposta.



PLANTA



ELEVAÇÃO

FIGURA 2

4.2.1.1 Para obtenção do paralelismo e regularização das faces de trabalho dos corpos-de-prova, quaisquer outros processos ou materiais poderão ser usados, desde que, para os fins de ensaio, surtam efeitos semelhantes aos da pasta.

4.2.1.2 Após o endurecimento do material utilizado, os corpos-de-prova são identificados e imersos em água durante 24 h.

4.2.1.3 Os corpos-de-prova devem ser retirados da água logo antes do ensaio e enxugados superficialmente.

4.2.1.4 As dimensões das faces de trabalho devem ser determinadas com uma precisão de 1 mm.

4.2.1.5 O corpo-de-prova deve ser colocado diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, de maneira a ficar centrado em relação a ele.

4.2.1.6 A aplicação da carga deve ser uniforme e à razão de 500 N/s (50 kgf/s).

4.2.1.7 A carga deve ser levada até ocorrer a ruptura do corpo-de-prova.

4.3 Ensaio de absorção de água

4.3.1 Os três tijolos restantes da amostra de cada lote formam os corpos-de-prova para este ensaio.

4.3.2 Secar o corpo-de-prova em estufa, entre 105°C e 110°C, até constância de massa (as pesagens devem ser feitas depois dos tijolos atingirem a temperatura ambiente), obtendo-se assim a massa M_1 do tijolo seco, em g.

4.3.3 Imergir o corpo-de-prova em um tanque durante 24 h. Após retirar da água, enxugar superficialmente com um pano úmido e pesar (antes de decorridos 3 minutos), obtendo-se assim a massa do tijolo saturado M_2 , em g.

5 RESULTADOS

5.1 Ensaio à compressão simples

5.1.1 Cálculo

Os valores individuais de resistência à compressão, expressos em MPa (kgf/cm²), são obtidos dividindo-se a carga máxima observada durante o ensaio (em N ou kgf) pela média das áreas das duas faces de trabalho (em mm² ou cm²).

5.1.2 Valor médio da amostra

Média dos dez valores individuais.

5.2 Ensaio de absorção de água

5.2.1 Cálculo

Os valores individuais de absorção de água, expressos em porcentagem, são obtidos pela seguinte expressão:

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

Onde:

M_1 = massa do tijolo seco em estufa

M_2 = massa do tijolo saturado

A = absorção de água, em porcentagem

5.2.2 Valor médio da amostra

Média dos três valores individuais.

5.3 Certificado

Do certificado devem constar:

- o valor médio de cada uma das dimensões reais dos tijolos como recebido;
- os valores individuais de resistência à compressão e o valor médio, conforme 5.1.1 e 5.1.2;
- os valores individuais de absorção de água e o valor médio, conforme 5.2.1 e 5.2.2;
- a idade dos corpos-de-prova e o teor de cimento, sempre que declarados.

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1 – Aspecto da lavra de matacão	15
Figura 2 – Perfuração e subdivisão de blocos com explosivos	15
Figura 3 – Procedimento para lavra de granito em matacões	17
Figura 4 – Lavra com utilização do fio helicoidal	20
Figura 5 – Corte por perfuração e explosivos	21
Figura 6 – Corte da rocha usando (maçarico) <i>Flame Jet</i>	24
Figura 7 – Cortador de corrente	26
Figura 8 – Corte de granito com jatos de água de alta pressão, <i>Water Jet</i>	27
Figura 9 – Equipamento para corte com uso de fio diamantado	29
Figura 10 – Lavra com fio diamantado empresa Fontex	30
Figura 11 – Equipamento para acionamento do fio diamantado	31
Figura 12 – Impacto de Corpo duro	33
Figura 13 – Equipamento de ensaio à abrasão Amsler	38
Figura 14 – Granito verde de Nova Venécia	40
Figura 15 – Pátio de estocagem de blocos da Marbrasa	41
Figura 16 – Placas de granito após desdobramento	42
Figura 17 – Tear convencional mostrando colunas de sustentação	44
Figura 18 – Talha – blocos mono disco	46
Figura 19 – Politriz multicabeça com esteira transportadora	52
Figura 20 – Máquina para apicoamento	53
Figura 21 – Máquina de flameagem	53
Figura 22 – Acabamento com apicoamento produzindo piso antiderrapante	55
Figura 23 – Acabamento rústico com apicoamento	55
Figura 24 – Mesa oscilatória, estratificação vertical entre os riffles	64
Figura 25 – Modelos de ciclones	68
Figura 26 – Tipos de descarga do apex	70
Figura 27 – Esquema de ciclone convencional	71
Figura 28 – Limpeza da barragem com escavadora e caminhão	73
Figura 29 – Limpeza da barragem e transporte do rejeito para o bota fora	74
Figura 30 – Tubo de descarga da lama	74

Figura 31 – Descarga da lama dos teares, local de amostragem	75
Figura 32 – Coleta no tubo de descarga da lama	75
Figura 33 – Amostragem na borda da barragem de rejeitos	76
Figura 34 – Fluxograma usado na preparação da amostra	78
Figura 35 – Pilha de homogeneização dos rejeitos	79
Figura 36 – Peneirador suspenso	82
Figura 37 – Separação magnética com tubo Davis	85
Figura 38 – Separador magnético Boxmag Rapid	86
Figura 39 – Separador magnético de baixa intensidade de tambor	87
Figura 40 – Separador de alta intensidade Carrossel modelo CF-5	89
Figura 41 – Mesa vibratória Denver	90
Figura 42 – Mesa concentradora Mozley	91
Figura 43 – Ciclone da Akw	92
Figura 44 – Procedimento de caracterização dos finos da serraria	94
Figura 45 – Separação magnética com tubo Davis	101
Figura 46 – Separador magnético Boxmag Rapid	103
Figura 47 – Laboratório de materiais da Faculdade de Arquitetura da UFRJ	118
Figura 48 – Argamassadeira usada na preparação da massa	118
Figura 49 – Mesa e molde para medição de consistência de argamassas	119
Figura 50 – Equipamento para rompimento de corpos de prova	120
Figura 51 – Corpos de prova colocados por 28 dias em cura	121
Figura 52 – Mesa vibratória para adensamento de argamassas	121
Figura 53 – Prensa usada para produção de corpos de prova para queima e medição de resistência	128
Figura 54 – corpos de prova para queima e medição de resistência à flexão	129
Figura 55 – aparelho usado para medir a resistência à flexão	131
Figura 56 – corpo de prova antes de ser rompido, início da medição da resistência à flexão	131
Figura 57 – Unidade Industrial do Grupo Jotadois-Fábrica de pré-moldados	141
Figura 58 – Máquina de pré-moldados da Genipabu Industrial	142
Figura 59 - Blocos estruturais produzidos na Jotadois	143
Figura 60 - Secagem de Blocos para aumentar a resistência mecânica	143

ÍNDICE DAS TABELAS

	página
Tabela 1 – Características petrográficas de rochas brasileiras	09
Tabela 2 – Parâmetros de corte nos granitos usando Flame Jet	24
Tabela 3 – Taxa estimada de geração de resíduo mineral	43
Tabela 4 – Análise química da amostra	81
Tabela 5 – Quantificação mineralógica obtida na Difração de RX	81
Tabela 6 – Análise granulométrica dos finos	83
Tabela 7 – Composição química e perda ao fogo de duas análises dos Finos	95
Tabela 8 – Distribuição granulométrica dos finos da serraria	96
Tabela 9 – Distribuição obtida nos ensaios em meio denso e magnético	97
Tabela 10 – Composição mineralógica determinada por difração de RX em frações extraídas do resíduo	98
Tabela 11 - Quantificação mineralógica original e corrigida pelo teor de Na ₂ O obtida por DRX / Rietveld	99
Tabela 12 – Resultados da separação magnética de baixa intensidade com tubo Davis usando finos gerados nos teares das serrarias	102
Tabela 13 – Resultados da separação magnética de alta intensidade com o Boxmag Rapid usando finos produzidos nos teares das serrarias	104
Tabela 14 – Resultados obtidos com o separador magnético de tambor de baixa intensidade	106
Tabela 15 – Resultados obtidos com o separador magnético de Carrossel modelo CF-5 de alta intensidade – Ensaio 1	107
Tabela 16 – Resultados obtidos com o separador magnético de Carrossel modelo CF-5 de alta intensidade – Ensaio 2	108
Tabela 17 – Resultados obtidos usando a mesa vibratória Denver	109
Tabela 18 – Resultados obtidos com a mesa Mozley – Ensaio 1	110
Tabela 19 – Resultados obtidos com a mesa Mozley – Ensaio 2	111
Tabela 20 – Resultados obtidos com a mesa Mozley – Ensaio 3	112
Tabela 21 – Resultados obtidos com a mesa Mozley – Ensaio 4	113
Tabela 22 – Resultados obtidos com ciclone de fundo chato – Ensaio 1	115
Tabela 23 – Resultados obtidos com ciclone de fundo chato – Ensaio 2	115

Tabela 24 – Resultados do índice de consistência	122
Tabela 25 – Resultados da resistência à compressão	122
Tabela 26 – Resultados da resistência à compressão	123
Tabela 27 – Resultados da resistência à compressão	123
Tabela 28 – Resultados da resistência à compressão	123
Tabela 29 – Amostra da argila cascavel seca a 70°C	133
Tabela 30 – Amostra da argila cascavel queimada a 900°C	133
Tabela 31 – Amostra da argila cascavel queimada a 1100°C	133
Tabela 32 – Análise granulométrica da argila cascavel	133
Tabela 33 – Amostra beneficiada seca a 70°C	134
Tabela 34 – Amostra beneficiada queimada a 900°C	134
Tabela 35 – Amostra beneficiada queimada a 1100°C	134
Tabela 36 – Análise granulométrica amostra beneficiada	134
Tabela 37 – Análises química das amostras não e beneficiada	135
Tabela 38 – Amostra não beneficiada seca a 70°C	135
Tabela 39 – Amostra não beneficiada queimada a 900°C	135
Tabela 40 – Amostra não beneficiada queimada a 1100°C	136
Tabela 41 – Análise granulométrica da amostra não beneficiada	136
Tabela 42 – Valores limites recomendados	136
Tabela 43 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão em blocos vazados de concreto para alvenaria	145